



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Escuela de Ingenierías Industriales

Ingeniería de Sistemas y Automática

Trabajo Fin de Grado

Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA

Design and simulation of the traction system for a mobile robot with tracks for the Roborescue UMA team

Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica

Autor: Marcos Navarrete Zambrana

Tutor: Antonio José Muñoz Ramírez

Cotutor: Jesús Manuel Gómez Gabriel

Málaga, Enero de 2024

Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue

UMA

- **Autor:** Marcos Navarrete Zambrana.
- **Tutor:** Antonio José Muñoz Ramírez.
- **Cotutor:** Jesús Manuel Gómez Gabriel
- **Departamento:** Ingeniería de Sistemas y Automática.
- **Titulación:** Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica.
- **Palabras clave** Diseño CAD, Ensamblaje, SolidWorks, Simulación, Matlab, Simulink, Simscape Multibody, Overleaf, Robótica, Tracción, Oruga, RoboRescue.

Resumen

El equipo RoboRescue de la Universidad de Málaga está trabajando en diseñar un robot de rescate que sea capaz de acceder a entornos que serían peligrosos para el ser humano, con objeto de poder manipular objetos y proporcionar asistencia a personas.

Este Trabajo de Fin de Grado está enfocado en la parte del sistema de tracción que consiste en cuatro orugas idénticas situadas una en cada esquina del chasis del vehículo. Cada oruga cuenta con dos motores, uno permite el giro de la correa y por tanto el movimiento del robot, y el otro se encarga de regular la inclinación de la oruga, con la finalidad de poder sortear obstáculos encontrados en el terreno.

Los motores van integrados con diversos componentes que han sido diseñados y posteriormente ensamblados mediante el software Solidworks, y fabricados usando las técnicas de mecanizado CNC e impresión 3D. Los grandes bloques de componentes de cada oruga son la polea activa que es la que mueve la correa, las ruedas tensoras que tensan la oruga y dan robustez al sistema, y por último la polea pasiva a la cual va acoplada un sistema de tensado que permite tensar la correa.

La parte final del trabajo consiste en exportar el modelo CAD a Simulink Multibody, donde se hacen una serie de simulaciones para comprobar la validez del modelo. El primer



modelo de simulación de la correa real usa solamente modelos cinemáticos, para el segundo modelo se crea una correa distinta de eslabones que permite simular haciendo uso de bloques de fuerzas de contacto que hacen la simulación más realista, y por último se tiene un modelo de correa seccionada que también tiene fuerzas de contacto pero de una forma más simplificada para optimizar el tiempo de simulación.

Design and simulation of the traction system for a mobile robot with tracks for the RoboRescue UMA team

- **Author:** Marcos Navarrete Zambrana.
- **Tutor:** Antonio José Muñoz Ramírez.
- **Cotutor:** Jesús Manuel Gómez Gabriel
- **Department:** Systems Engineering and Automation..
- **Degree:** Degree in Electronics, Robotics, and Mechatronics Engineering.
- **Keywords** CAD Design, Assembly, SolidWorks, Simulation, Matlab, Simulink, Simscape Multibody, Overleaf, Robotics, Traction, Track, RoboRescue.

Abstract

The RoboRescue team at the University of Malaga is working on designing a rescue robot capable of accessing environments that would be dangerous for humans, with the purpose of manipulating objects and providing assistance to individuals.

This Bachelor's Thesis is focused on the traction system, which consists of four identical tracks located at each corner of the vehicle chassis. Each track has two motors: one for turning the belt and thus moving the robot, and the other for controlling the inclination of the track to navigate obstacles encountered in the terrain.

The motors are integrated with various components that have been designed and subsequently assembled using Solidworks software, and manufactured using CNC machining and 3D printing techniques. The major component blocks for each track include the active pulley, which moves the belt; the tension wheels, which tighten the track and provide robustness to the system; and finally, the passive pulley, to which a tensioning system is attached to tighten the belt.

The final part of the work involves exporting the CAD model to Simulink Multibody, where a series of simulations are conducted to verify the validity of the model. The first



simulation model of the actual belt uses only kinematic models. For the second model, a different link-type belt is created, allowing simulation using contact force blocks for a more realistic simulation. Lastly, there is a segmented belt model that also incorporates contact forces but in a more simplified manner to optimize simulation time.

No pretendas que las cosas ocurran como tu quieres. Desea, más bien, que se produzcan tal como se producen, y serás feliz.

Epicteto



Agradecimientos

A mis padres, por entender mis ausencias y alegrarse con cada uno de mis triunfos.

A mi tutor, por darme la oportunidad de participar en este fascinante proyecto

A los profesores que ejercen su labor con vocación, por su inspiración

A mis amigos, por las risas, desafíos y éxitos compartidos

A mi familia, por su apoyo a lo largo de estos años

A todos, muchas gracias

Glosario de Términos

Bloque	Representación visual de una función matemática, una ecuación o un algoritmo en un modelo de simulación
Cinemática	Estudio del movimiento de objetos sin considerar las fuerzas involucradas
Dinámica	Estudio de las fuerzas y las causas del movimiento de objetos
Pieza	Componente 3D modelado
Ensamblaje	Conjunto de piezas o componentes modelados en SolidWorks que forman una estructura
Modelo simulación	Representación matemática o algorítmica de un sistema físico
Modelo CAD	Representación digital tridimensional de un objeto o sistema
Simulación	Proceso de imitar el comportamiento de un sistema o proceso a lo largo del tiempo, a menudo utilizando un modelo matemático o computacional.
Oruga	Sistema de tracción compuesto por una serie de eslabones articulados, o bien una sola pieza elástica, que permite el movimiento de vehículos sobre superficies irregulares.
Consignas de movimiento	Instrucciones o comandos que indican el movimiento deseado de un sistema, como un robot o un vehículo, en un contexto de control o simulación.
Modelos cinemáticos	Representaciones matemáticas que describen el movimiento de un sistema sin considerar las fuerzas involucradas, centrándose en posición, velocidad y aceleración
Rodamiento	Elemento mecánico que facilita el movimiento relativo entre dos partes al reducir la fricción
Espárrago	Varilla roscada o perno utilizado para sujetar o unir componentes en un sistema mecánico
Reductora	Dispositivo mecánico que reduce la velocidad de rotación de un motor, aumentando al mismo tiempo el par de salida
Señal	Datos que representan la evolución de una variable a lo largo del tiempo en el contexto de simulaciones
Polea	Dispositivo circular con ranuras utilizado para guiar el recorrido de una correa
Fuerza de contacto	Fuerza ejercida por un objeto sobre otro cuando están en contacto directo

Acrónimos

TFG	Trabajo de Fin de Grado
CAD	computer Aided Design
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
UMA	Universidad de Málaga
3D	3 Dimensions
XML	Extensible Markup Language
DOF	Degree of Freedom
CNC	Computer Numerical Control



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	3
1.3. Objetivos	5
1.4. Motivación	5
1.5. Contenido de la Memoria	6
2. Diseño 3D de piezas en Solidworks	9
2.1. Introducción	9
2.2. Descripción de las piezas	10
2.2.1. Chasis	10
2.2.2. Motor y reductora	12
2.2.3. Paneles laterales	14
2.2.4. Piezas polea activa	15
2.2.5. Ruedas tensoras	19
2.2.6. Piezas polea pasiva	22
2.2.7. Correa	26
2.2.8. Elementos comerciales	29
2.3. Conclusión	31
3. Ensamblaje en Solidworks	33
3.1. Introducción	33
3.2. Subensamblajes de la oruga	34

3.2.1. Subensamblaje chasis	34
3.2.2. Subensamblaje motor y reductora	35
3.2.3. Subensamblaje polea activa	36
3.2.4. Subensamblaje poleas centrales	37
3.2.5. Subensamblaje polea pasiva	38
3.3. Subensamblajes para simulación	39
3.3.1. Subensamblaje simulación partes fijas	39
3.3.2. Subensamblaje simulación polea activa	41
3.3.3. Subensamblaje simulación poleas centrales	41
3.3.4. Subensamblaje simulación polea pasiva	42
3.4. Ensamblaje completo	42
3.4.1. Ensamblaje de la oruga con la correa real	44
3.4.2. Ensamblaje de la oruga con la correa seccionada	44
3.4.3. Ensamblaje de la oruga con la correa de eslabones	45
3.4.4. Robot completo con las cuatro orugas	46
3.5. Conclusión	46
4. Simulación del sistema mediante Simscape Multibody	49
4.1. Introducción	49
4.1.1. Exportación del modelo de SolidWorks a Multibody	49
4.2. Modelo de la correa	50
4.2.1. Código de Matlab	52
4.2.2. Modelos cinemáticos	52
4.2.3. Suelo	57
4.2.4. Cámaras	57
4.2.5. Consignas de movimiento	58
4.2.6. Chasis	59
4.2.7. Orugas	60
4.2.8. Polea pasiva	64
4.3. Modelo de eslabones	64
4.3.1. Modelos cinemáticos	66
4.3.2. Articulación 6-DOF Joint	66

4.3.3. Suelo	67
4.3.4. Orugas	68
4.4. Modelo de la correa seccionada	78
4.4.1. Suelo	79
4.4.2. Orugas	79
4.5. Resultados de las simulaciones	82
4.5.1. Bloque signal editor	82
4.5.2. Simulación de giro	84
4.5.3. Simulación de inclinación frontal	85
4.5.4. Simulación de inclinación lateral	88
4.5.5. Simulación de trayectoria aleatoria	90
4.6. Conclusión	94
5. Conclusiones y trabajos futuros	95
5.1. Introducción	95
5.2. Conclusiones obtenidas	95
5.3. Líneas de trabajo futuras	96
Bibliografía	97
A. Planos	101



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Índice de figuras

1.1. Logo RoboCup Rescue	2
1.2. Robots RoboCup Rescue	2
1.3. Robot RoboRescue UMA	3
1.4. Motores	4
1.5. Oruga de goma	4
1.6. Configuración de movimiento	5
2.1. Logo Solidworks	9
2.2. Partes oruga	10
2.3. Plancha del chasis	11
2.4. Perfiles de aluminio	12
2.5. Conjunto Motor - Reductora	13
2.6. Eje de la reductora	14
2.7. Paneles laterales	15
2.8. Conjunto polea activa con corte	15
2.9. Rodamiento y soporte rodamiento	16
2.10. Motor polea activa	17
2.11. Polea activa	18
2.12. Eje exterior y rodamiento	19
2.13. Conjunto ruedas tensoras con corte	20
2.14. Eje tensor	20
2.15. Polea central	21

2.16. Separador central	22
2.17. Conjunto polea pasiva con corte	22
2.18. Polea pasiva	23
2.19. Eje polea pasiva	24
2.20. Parte fija tensado	25
2.21. Parte móvil tensado	25
2.22. Esparrago	26
2.23. Correa real	27
2.24. Correa seccionada	28
2.25. Correa seccionada	29
2.26. Tornillo	29
2.27. Arandela	30
2.28. Tuerca	30
3.1. Relaciones de posición	34
3.2. Chasis	35
3.3. Reductora	35
3.4. Polea activa ensamblada	36
3.5. Polea activa explosionada	37
3.6. Poleas centrales	38
3.7. Polea pasiva ensamblada	38
3.8. Polea pasiva explosionada	39
3.9. Partes fijas ensambladas	40
3.10. Partes fijas explosionadas	40
3.11. Polea activa	41
3.12. Poleas centrales	41
3.13. Polea pasiva	42
3.14. Ensamblaje oruga	43
3.15. Explosionado oruga	43
3.16. Ensamblaje de la oruga con la correa real	44
3.17. Ensamblaje de la oruga con la correa seccionada	45
3.18. Ensamblaje de la oruga con la correa de eslabones	45
3.19. Ensamblaje del robot con cuatro orugas	46

3.20. Dimensiones Oruga	47
4.1. Simscape multibody link	50
4.2. Modelo base importado	50
4.3. Pantalla principal modelo real	51
4.4. Bloques para conexión de distintos elementos	51
4.5. Modelos cinemáticos. Modelo real.	53
4.6. Bloque Altura ángulo giro.	53
4.7. Bloque Giro reductoras a giro robot.	54
4.8. Bloque "Modelo cinemáticos inverso".	55
4.9. Bloque Velocidad a ángulo de giro	55
4.10. Bloque Modelo cinemático directo	56
4.11. Bloque Odometría	57
4.12. Bloque suelo. Modelo real.	57
4.13. Bloque cámaras.	58
4.14. Bloque cámara superior.	58
4.15. Bloque consignas de movimiento	59
4.16. Bloque chasis	59
4.17. Bloque oruga. Modelo Real.	60
4.18. Bloque reductora.	61
4.19. Bloque ejes y chapas	62
4.20. Ejemplo de bloque de componente	63
4.21. Bloque polea activa. Modelo real	63
4.22. Bloque polea pasiva. Modelo real.	64
4.23. Pantalla principal modelo eslabones	65
4.24. Bloques para conexión de distintos elementos Simscape	65
4.25. Modelos cinemáticos. Modelo eslabones	66
4.26. Bloque 6-DOF Joint	66
4.27. Bloque suelo. Modelo eslabones	67
4.28. Opción export geometry	68
4.29. Bloque oruga. Modelo eslabones	69
4.30. Bloque cadena	69
4.31. Bloque eslabón	70

4.32. Bloque eslabón 1	70
4.33. Fuerzas de contacto entre los eslabones y la polea activa	70
4.34. Zoom bloque cadena	71
4.35. Bloque fuerzas de contacto	72
4.36. Subbloque fuerzas de contacto	73
4.37. Bloque spatial contact force	73
4.38. Configuración spatial contact force	74
4.39. Bloque simscapebus	74
4.40. Bloque polea activa	75
4.41. Bloque polea activa 1	75
4.42. Bloque poleas centrales	76
4.43. Bloque polea central	76
4.44. Bloque polea pasiva	77
4.45. Bloque cylindrical solid polea pasiva	77
4.46. Pantalla principal modelo correa seccionada	78
4.47. Bloque suelo. Modelo seccionado	79
4.48. Bloque oruga. Modelo seccionado	80
4.49. Bloque polea activa. Modelo seccionado	80
4.50. Bloque correa polea activa	81
4.51. Bloque polea pasiva. Modelo seccionado	81
4.52. Bloque correa polea pasiva	81
4.53. Captura robot arriba	82
4.54. Bloque signal editor	83
4.55. Configuración signal editor	83
4.56. Señal giro.	84
4.57. Gráficas modelo real señal giro	84
4.58. Gráficas modelo seccionado señal giro	85
4.59. Señal inclinación frontal	86
4.60. Captura robot modelo real inclinación frontal	86
4.61. Gráficas modelo real señal frontal	87
4.62. Captura robot modelo seccionado inclinación frontal	87
4.63. Gráficas modelo seccionado señal inclinación frontal	88

4.64. Señal inclinación lateral	88
4.65. Captura robot modelo real inclinación lateral	89
4.66. Gráficas modelo real señal inclinación lateral	89
4.67. Captura robot modelo seccionado inclinación lateral	90
4.68. Gráficas modelo seccionado señal inclinación lateral	90
4.69. Señal simulación aleatoria	91
4.70. Gráficas modelo real señal inclinación trayectoria aleatoria	91
4.71. Gráficas modelo seccionado señal trayectoria aleatoria	92
4.72. Captura robot modelo eslabones	93
4.73. Captura robot modelo eslabones inclinación lateral	93
4.74. Gráficas modelo eslabones señal trayectoria aleatoria	94

Capítulo 1

Introducción

1.1 Introducción

Esta memoria constituye el núcleo fundamental de este Trabajo de Fin de Grado (TFG), y su propósito primordial es proporcionar una visión general exhaustiva y precisa del proyecto en su conjunto. A lo largo de estas páginas, se abordará de manera integral el diseño y simulación de un sistema de tracción con orugas destinado a un robot de rescate, que actualmente se encuentra desarrollando el equipo RoboRescue UMA. Este proyecto representa un paso significativo hacia la mejora de las capacidades de respuesta y rescate en situaciones críticas.

El enfoque principal de este TFG radica en la concepción, desarrollo y evaluación de un sistema de tracción robusto y versátil, capaz de permitir que el robot de rescate se desplace de manera efectiva en entornos complejos y potencialmente peligrosos. Para llevar a cabo este desafío, se empleará el software SolidWorks, una herramienta ampliamente reconocida para el diseño y modelado de sistemas mecánicos, siendo éste el software elegido para el diseño mecánico de todas las piezas de la oruga y su correspondiente ensamblaje. Una vez completo el diseño se hará uso del paquete SimScape Multibody de Simulink, Matlab, que proporcionará las capacidades de simulación necesarias para analizar y mejorar el diseño del sistema de tracción, partiendo del ensamblaje creado previamente en Solidworks.

Este trabajo cobra sentido gracias a la RoboCup Rescue [1] (figura 1.1), una apasionante competición en el ámbito de la RoboCup, que se erige como una iniciativa global que impulsa la investigación y desarrollo de tecnologías robóticas aplicadas a situaciones de emergencia y desastres. Este evento desafiante convoca a equipos de todo el mundo a diseñar y desplegar robots autónomos capaces de abordar escenarios realistas de crisis, como terremotos e incendios. La misión fundamental de la RoboCup Rescue es fomentar la innovación en la creación de soluciones robóticas avanzadas, contribuyendo así a la mejora de la capacidad de respuesta en situaciones críticas. A través de sus diversas categorías, que incluyen búsqueda, rescate y evaluación de daños, la competición no solo estimula la competencia entre equipos, sino que también promueve la colaboración y el intercambio

1.1. INTRODUCCIÓN

de conocimientos para avanzar en la vanguardia de la robótica aplicada a la gestión de emergencias. La RoboCup Rescue representa un emocionante terreno de pruebas donde la tecnología y la innovación convergen para enfrentar los desafíos cruciales de nuestro mundo contemporáneo.



Figura 1.1: Logo RoboCup Rescue

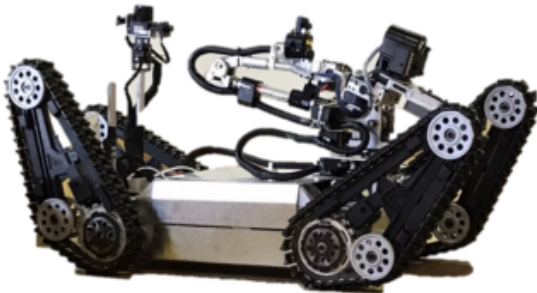
La figura 1.2 presenta cuatro destacados robots: Shinobi [2], Héctor [3], Thailand [4] y Capra [5]. Entre ellos, Shinobi se destacó como el ganador de la edición 2022, clasificación que se puede consultar en la web de la RoboCup [6]. Estos robots, incorporan tecnologías similares a las empleadas en este trabajo, sirviendo como fuente de inspiración para el desarrollo de soluciones robóticas avanzadas como la implementación de orugas para el robot de rescate. Para explorar más a fondo las innovadoras técnicas y enfoques utilizados por estos robots, todos los papers y documentos relacionados se encuentran disponibles en la web de la RoboCup [7].



(a) Shinobi



(b) Héctor



(c) Thailand



(d) Capra

Figura 1.2: Robots RoboCup Rescue

El equipo RoboRescue UMA, conformado por estudiantes y profesores de la Universidad de Málaga, emerge como un equipo dedicado a la competición RoboCup Rescue. Ya cuenta con un robot de rescate previo que se puede ver en la figura 1.3, y el equipo ahora se ha embarcado en un emocionante proyecto para concebir un nuevo robot de rescate actualizado. Entre las innovaciones clave de este nuevo robot, se destaca la implementación de una tracción basada en orugas, objeto de este trabajo.



Figura 1.3: Robot Roborescue UMA

1.2 Antecedentes

Los antecedentes desempeñan un papel crucial en la comprensión de la importancia y el contexto de este proyecto de investigación. La investigación en el ámbito de la robótica y la tecnología aplicada a situaciones de rescate ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años debido a la creciente necesidad de contar con soluciones eficientes en operaciones de salvamento y rescate en entornos peligrosos y desafiantes.

Uno de los desafíos más prominentes que ha impulsado la investigación en esta área

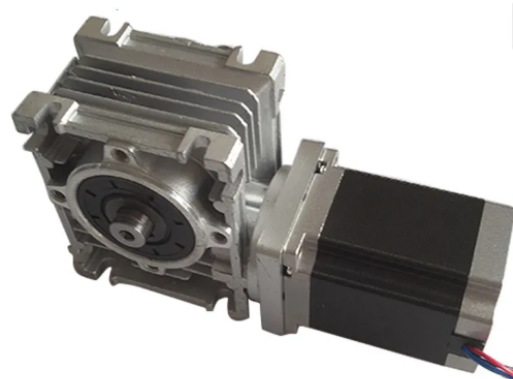
es la movilidad de los robots de rescate en terrenos complicados y adversos. Para abordar esta necesidad, se han desarrollado distintas tecnologías, como las ruedas clásicas, las orugas convencionales, donde cada lado del robot está equipado con una oruga y otras soluciones innovadoras. En este contexto, el equipo RoboRescue UMA [8] ha optado por un enfoque que implica el uso de cuatro orugas, una en cada extremo del robot, con la capacidad de regular la inclinación de las orugas.

Esta elección de diseño se basa en investigaciones previas que han demostrado la eficacia de las orugas en términos de movilidad y estabilidad, particularmente en terrenos irregulares y situaciones de rescate donde es necesario sortear obstáculos y adaptarse a condiciones cambiantes. La capacidad de regular la inclinación de las orugas ofrece un nivel adicional de flexibilidad y adaptabilidad, lo que permite una mayor versatilidad en el desplazamiento del robot en entornos variados.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto, se ha llevado a cabo una planificación que incluye la preparación anticipada de los componentes comerciales destinados a ser utilizados en la oruga. Se ha realizado un diseño adecuado, adaptándolo cuidadosamente a la geometría y función de dichos componentes. En particular, se han adquirido dos motores clave: un servomotor[9] y un motor paso a paso con reductora[10], ambos representados en la figura 1.4. Para la oruga, se ha elegido una versión de goma[11], caracterizada por ser una pieza única y carecer de piñones, tal como se observa en la figura 1.5.



(a) Servo sin Escobillas RMD-X8S2 V3



(b) Motor NEMA 23 con reductora NMRV030 80:1 3Nm

Figura 1.4: Motores



Figura 1.5: Oruga de goma

Gracias a estos componentes se puede conseguir la configuración de diseño deseada de tal forma que se controle tanto el giro de oruga como su altura, ambos giros representados en la figura 1.6. Así quedan definidas las condiciones de diseño.

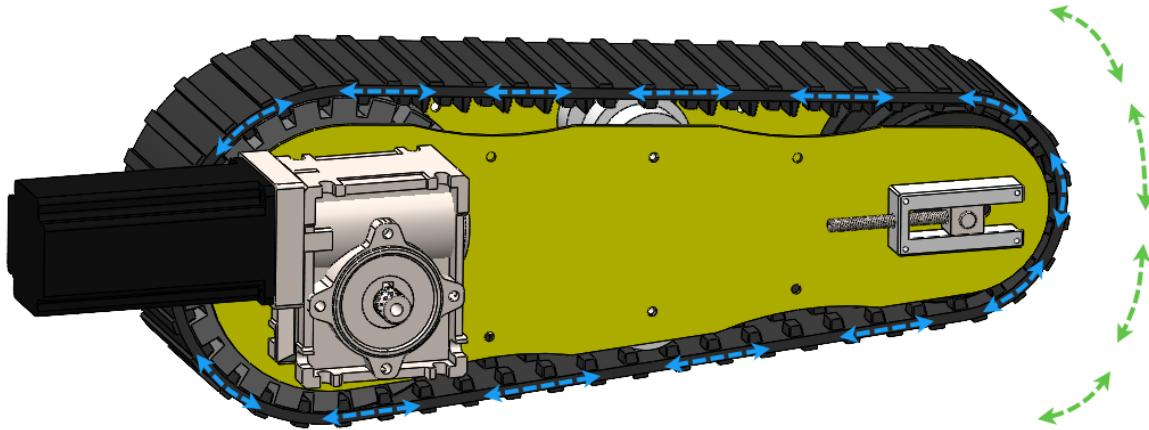


Figura 1.6: Configuración de movimiento

1.3 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es lograr la creación de un modelo realista de la oruga que sea factible de fabricar y, posteriormente, someterlo a simulaciones para verificar el correcto funcionamiento de las orugas.

Para poder cumplir los objetivos se ha tenido que llevar a cabo una investigación previa, para ver las distintas opciones existentes y comprender los enfoques y tecnologías utilizadas en proyectos similares. Se han tenido que adquirir conocimientos en los programas informáticos usados en el trabajo, como Solidworks para el diseño 3D y Simscape Multibody para la simulación. También se busca llevar a cabo el diseño de elementos, abordando el desarrollo y diseño de los componentes del sistema con especial atención a los factores de diseño que garanticen la viabilidad de la fabricación. Seguidamente, se procederá al ensamblaje de componentes, con el objetivo de integrar de manera eficiente las orugas, motores y demás elementos diseñados, formando así un sistema de tracción completo y funcional para el robot de rescate. Finalmente, la etapa de simulación y verificación implica exportar el diseño ensamblado al software de simulación SimScape Multibody de Simulink, donde se realizarán simulaciones exhaustivas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema antes de su implementación práctica, garantizando su eficacia y rendimiento.

1.4 Motivación

Este trabajo presenta un interés significativo en la robótica de rescate y la ingeniería mecánica debido a su potencial para mejorar la tecnología de rescate y aumentar la adapta-

bilidad de los robots en entornos complejos. La eficacia y la capacidad de respuesta de los robots de rescate desempeñan un papel crucial en situaciones de emergencia y desastres naturales.

Además, este proyecto destaca por su aplicación de tecnologías avanzadas, como SolidWorks y SimScape Multibody de Matlab de MathWorks Inc [12], en el diseño y la evaluación del sistema de tracción. Estas herramientas permiten la creación y la prueba virtual de sistemas antes de la fabricación física, lo que puede ahorrar tiempo y recursos en el proceso de desarrollo.

La colaboración interdisciplinaria entre la ingeniería mecánica y la robótica promovida por este proyecto fomenta la interacción entre áreas de conocimiento, lo que facilita la aplicación práctica de conceptos teóricos en un contexto real.

1.5 Contenido de la Memoria

Este trabajo se compone de cinco capítulos, siendo el primero una introducción. El segundo capítulo se enfoca en el diseño detallado de cada componente de la oruga utilizando software CAD. A continuación, el tercer capítulo aborda el ensamblaje de los elementos resultantes del diseño. El cuarto capítulo presenta los modelos de simulación creados para evaluar el funcionamiento del robot, junto con los resultados obtenidos de estas simulaciones. Finalmente, el quinto capítulo ofrece las conclusiones y resultados obtenidos al concluir el trabajo, además de establecer pautas para posibles líneas de desarrollo futuro.



Capítulo 2

Diseño 3D de piezas en Solidworks

2.1 Introducción

En este capítulo, se lleva a cabo una detallada descripción de las diversas piezas y elementos que conforman cada una de las cuatro orugas. Este análisis incluye una explicación exhaustiva de la función de cada componente, así como la especificación de los criterios de diseño que han guiado su concepción.

Cada pieza será abordada de manera individual, destacando su papel específico en el conjunto de las orugas. Se proporcionará una comprensión clara de cómo cada elemento contribuye al funcionamiento integral del sistema, resaltando sus características y propiedades fundamentales. Los planos de cada una de ellas se pueden ver en el apéndice A

Para el diseño de todas las piezas y los posteriores ensamblajes que se verán en el Capítulo 3 se ha usado el software de diseño Solidworks en su versión 2022[13], el cual es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza principalmente para la creación y modelado tridimensional de piezas y ensamblajes en el ámbito de la ingeniería y el diseño industrial. Esta herramienta permite a los usuarios realizar diseños detallados de productos, simular el comportamiento de piezas y conjuntos, así como generar documentación técnica de manera eficiente. Con una interfaz intuitiva, SolidWorks facilita la creación de modelos paramétricos, lo que significa que los cambios en el diseño se reflejan automáticamente en todas las instancias relacionadas. Además, ofrece funcionalidades para la realización de análisis de tensiones, simulaciones de movimiento, y generación de planos y documentación técnica. SolidWorks es ampliamente utilizado en diversas industrias para agilizar el proceso de diseño y mejorar la precisión y eficiencia en el desarrollo de productos.



Figura 2.1: Logo Solidworks

2.2 Descripción de las piezas

En líneas generales, la mayoría de las piezas se han diseñado desde cero, con la excepción de algunos elementos comerciales. En estos casos, no ha sido necesario crear diseños específicos, ya que se pudieron obtener diseños existentes disponibles en internet y posteriormente incorporarlos al ensamblaje.

Para mejorar la comprensión del conjunto de la oruga, se ha implementado una organización estructurada de los elementos en distintas secciones. Esta organización facilita la visualización y el análisis sistemático de cada componente, contribuyendo a una comprensión más clara de la interrelación y la función de cada parte dentro del conjunto completo. Esta organización se señala en la figura 2.2.

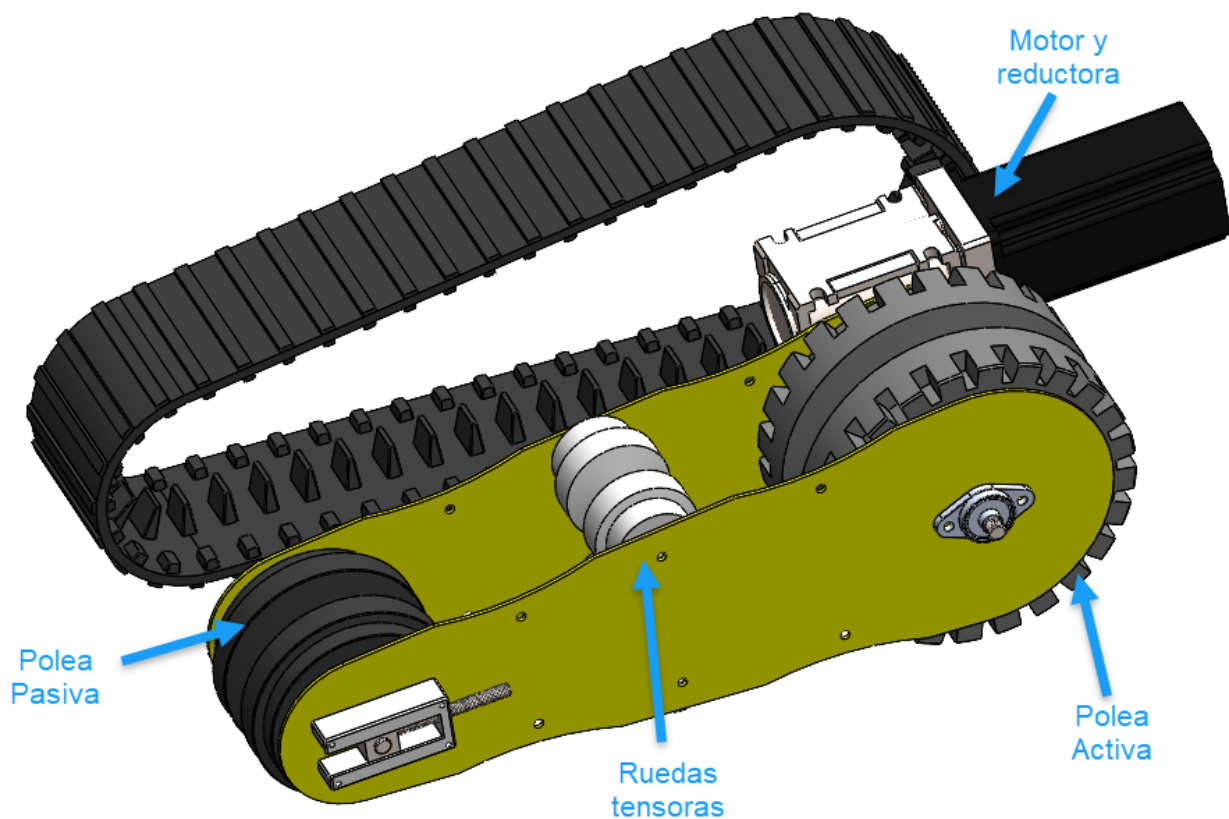


Figura 2.2: Partes oruga

2.2.1 Chasis

Es importante destacar que el chasis actual no constituye la versión definitiva, ya que el equipo Roborescue se encargará de diseñar y fabricar un chasis más avanzado, ajustado a las necesidades específicas del proyecto. El chasis actual se utilizará temporalmente como un elemento de unión para las cuatro orugas en las simulaciones que se expondrán en el

Capítulo 4. Sus elementos son los siguientes:

Plancha

La plancha que se muestra en la figura 2.3 desempeña un papel fundamental en la estructura del robot, ya que sirve como la plataforma principal sobre la cual se alojarán y montarán todos los demás componentes. Su función principal es sostener el peso total del robot, actuando como la base estructural que proporciona estabilidad y resistencia. Además, cumple con la función crucial de ofrecer una superficie de sujeción adecuada para fijar de manera segura y eficiente todos los elementos adicionales del robot.

La fijación de la plancha al chasis mediante tornillos a los perfiles garantiza una unión robusta y estable. Esta conexión sólida es esencial para asegurar la integridad estructural del robot, especialmente teniendo en cuenta las posibles tensiones y cargas a las que pueda estar sometido durante su operación.

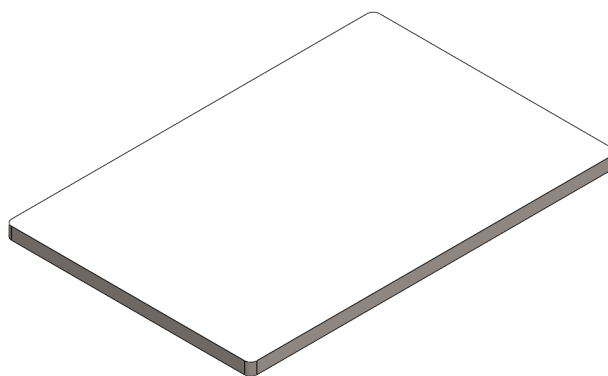


Figura 2.3: Plancha del chasis

Las dimensiones de la placa son de 600x300x10 mm, y el material adecuado para su construcción podría ser el aluminio. Sobre esta placa se fijarán los demás componentes que conforman el robot. Es importante destacar la ausencia de agujeros de ensamblaje, ya que el chasis actúa como un elemento provisional destinado exclusivamente para facilitar la simulación. No obstante, es crucial señalar que esta versión no será la definitiva, y en fases posteriores se incorporarán perforaciones para la fijación de los perfiles en la parte inferior, así como otros componentes como el brazo robótico en la parte superior.

Perfiles

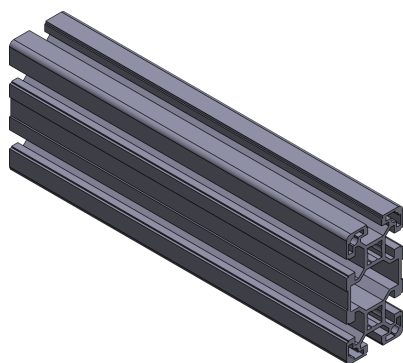
La elección de perfiles de aluminio de 40x80 mm de sección se fundamenta en sus propiedades específicas y su idoneidad para aplicaciones en maquinaria industrial y robótica, como es el caso del proyecto actual. Estos perfiles son especialmente versátiles debido a la presencia de ranuras que permiten la fijación sencilla de componentes mediante tornillos

de cabeza de martillo, proporcionando una solución eficiente y ajustada para la integración de elementos en el chasis.

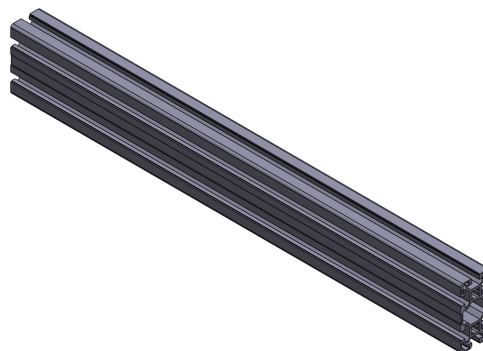
Un detalle relevante de estos perfiles radica en su notable ligereza, pesando tan solo 0,8 Kg/m y acumulando un total de 1,44 Kg. Esta característica resulta ideal para el robot, ya que no añade excesivo peso al conjunto, al mismo tiempo que demuestra una capacidad adecuada para resistir eficazmente las tensiones anticipadas durante su funcionamiento.

La disposición de cuatro perfiles, dos de 600 mm de longitud y otros dos de 240 mm, al ensamblarse, crea un marco con dimensiones útiles de 600x300 mm. Esta configuración define el área donde la plancha será apoyada en la parte superior, constituyendo así la base sólida y estable del chasis.

La fijación de los motores y reductoras de la oruga en las cuatro esquinas inferiores completa el prototipo del chasis de manera efectiva.



(a) Perfil de aluminio 40x80x240 mm



(b) Perfil de aluminio 40x80x600 mm

Figura 2.4: Perfiles de aluminio

Si se desea ver el resultado del chasis ensamblado, es decir los perfiles con la placa montada se podrá ver en el capítulo de ensamblaje en la figura 3.2

2.2.2 Motor y reductora

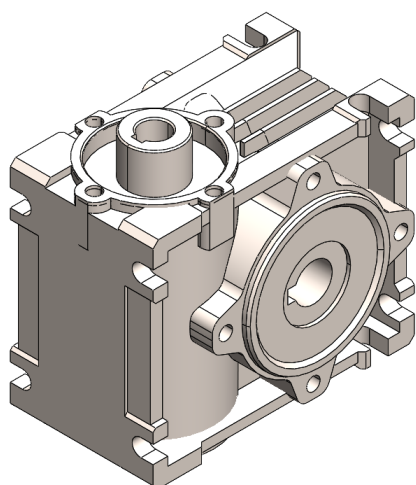
Este conjunto cumple la función crucial de regular la inclinación y también la altura de cada una de las orugas con respecto al suelo. Para lograr este objetivo se ha optado por la utilización de motores paso a paso. Estos motores brindan una manera eficiente y fácil de controlar la inclinación de los cuatro puntos de apoyo del robot. Para mejorar la precisión en el control de la rotación de estos motores, se ha incorporado una reductora, permitiendo así ajustes más detallados.

El acoplamiento entre el motor paso a paso y la reductora se lleva a cabo mediante una pieza comercial. Esta pieza actúa como un nexo entre ambos componentes, asegurando una unión robusta y eficaz. Los tres elementos se visualizan en la figura 2.5

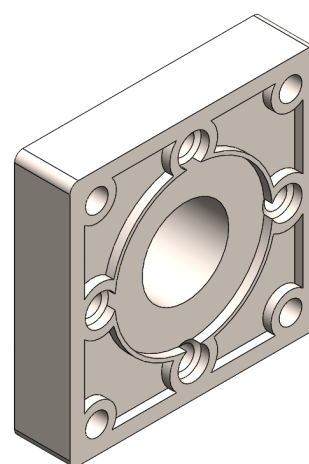
La reductora tiene ranuras diseñadas para facilitar la fijación mediante tornillos, es el componente que se asegura directamente al chasis. Esta elección de diseño asegura

una conexión sólida entre el conjunto motor-reductora y la estructura principal del robot, contribuyendo a la estabilidad y funcionalidad general.

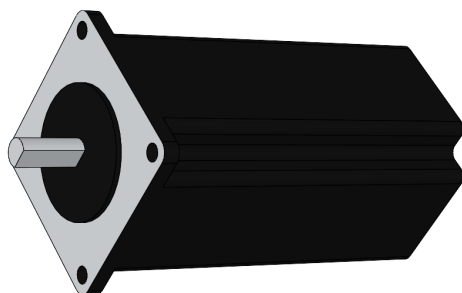
Es importante destacar que, en cuanto al diseño, se ha centrado únicamente en la parte que une el motor con la reductora ya que no se pudo encontrar online el modelo concreto del que se disponía en el taller. Los diseños del motor [14] y la reductora [15] han sido descargados de internet, aprovechando así los recursos disponibles y ahorrando esfuerzos en el diseño de elementos comerciales ya existentes. Esta práctica no solo agiliza el proceso de diseño, sino que también proporciona representaciones realistas y funcionales de componentes comerciales clave en el proyecto.



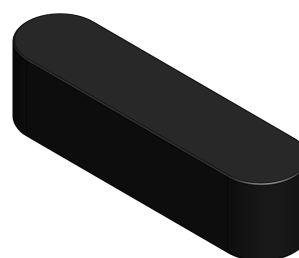
(a) Reductora



(b) Pieza de unión del motor con la reductora



(c) Motor paso a paso



(d) Chaveta

Figura 2.5: Conjunto Motor - Reductora

El motor utilizado es un paso a paso del tipo Nema 23, modelo 57HS112, con un diámetro de eje de 8 mm y un par de 3 Nm. Este motor está acoplado a una reductora, específicamente el modelo NMRV030, que presenta un ratio de reducción de 80:1.

La reductora está equipada con una ranura cilíndrica en la que se incorpora otra ranura rectangular en la parte superior. Esta disposición permite la inserción de un eje y su respectiva chaveta. La chaveta, con dimensiones de 5x5x20 mm, cumple la función esencial de asegurar la conexión rígida entre la reductora y el eje, permitiendo que giren solidariamente. Esta chaveta garantiza la transmisión del movimiento de la reductora al eje de manera

precisa y sin deslizamientos.

El eje cuya geometría se muestra en la figura 2.6, y que se ha de mecanizar en acero, se fija por la parte exterior de la reductora con una tuerca y por la parte interior se atornilla a los paneles laterales, que se detallarán en el siguiente apartado. Esta conexión estructural entre la reductora y el eje no solo proporciona estabilidad, sino que también sirve como unión entre la reductora y el resto de la oruga. Además, el eje desempeña un papel crucial al transmitir el giro de la reductora al conjunto de la oruga. También destacar que el eje es hueco en su interior, incluyendo un orificio por el que pasarán los cables provenientes del motor de la polea activa.

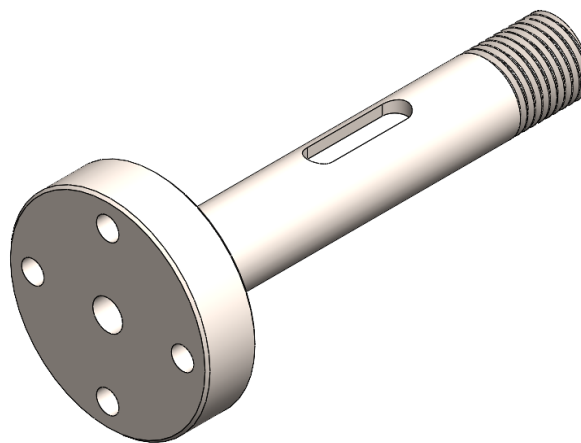
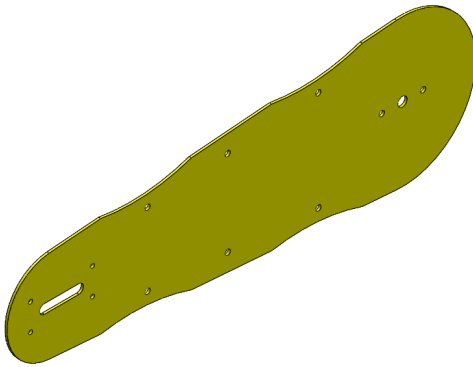


Figura 2.6: Eje de la reductora

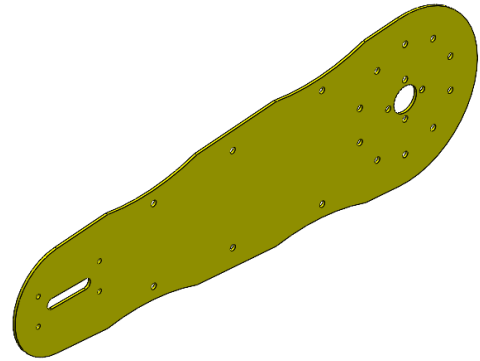
2.2.3 Paneles laterales

Cada oruga está compuesta por dos paneles laterales, una exterior y una interior, entre las cuales se ubican las diversas poleas necesarias para su funcionamiento. En la versión inicial, la forma exterior de estas paneles laterales cerraba completamente el espacio lateral que dejaba la correa. Sin embargo, se tomó la decisión posterior de retirar unos centímetros del contorno exterior, quedando unas medidas de 304,45 mm de distancia entre ejes y unos radios de 63.9 mm y 40 mm, de las circunferencias de los extremos. Esta modificación tiene como objetivo mejorar la ventilación y prevenir roces innecesarios entre las poleas y los paneles laterales. El material de que se han de fabricar los paneles laterales es en acero, por ofrecer una buena resistencia a la flexión y aportar la robustez necesaria en la oruga.

Como se puede apreciar en la figura 2.7, ambos paneles presentan taladros ubicados en distintas posiciones estratégicas. Estos taladros sirven como puntos de fijación, donde se atornillarán los elementos detallados en los próximos apartados. La disposición precisa de estos taladros permite una sujeción segura de los componentes, contribuyendo a la estabilidad y funcionalidad del conjunto.



(a) Chapa exterior

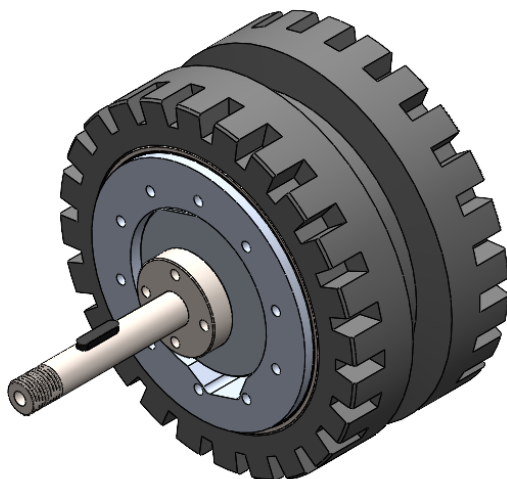


(b) Chapa interior

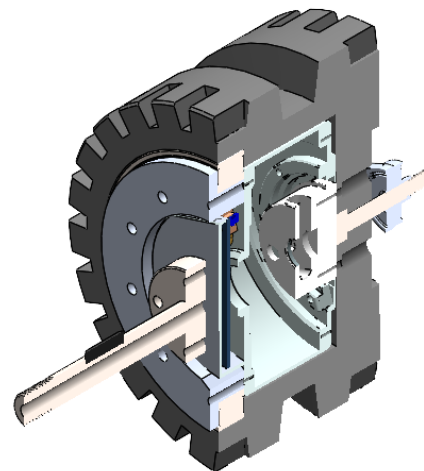
Figura 2.7: Paneles laterales

2.2.4 Piezas polea activa

La polea activa contiene como elemento principal un motor que es el encargado de hacer girar la correa de la oruga, permitiendo al robot desplazarse. El resto de elementos de este conjunto tienen la función de fijar el motor en la posición adecuada y transmitir el movimiento del motor a la oruga. Para una comprensión sencilla se van a describir los elementos en el orden que irán ensamblados desde la chapa interior a la chapa exterior, y se representa en la figura 2.8 tanto este conjunto como un corte para ver la disposición de los elementos en el interior.



(a) Conjunto polea activa



(b) Corte conjunto polea activa

Figura 2.8: Conjunto polea activa con corte

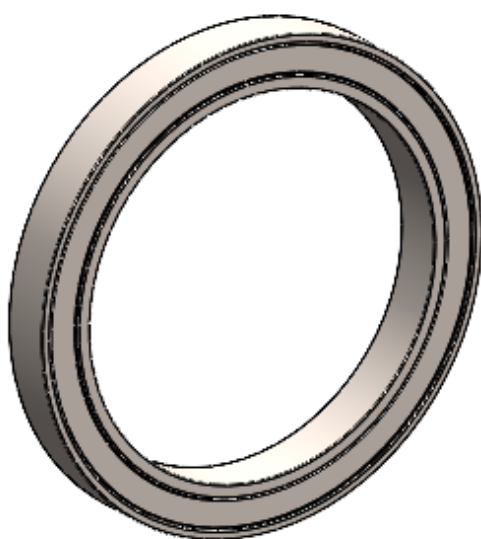
Soporte Rodamiento y rodamiento

La necesidad de proporcionar soporte al extremo de la polea activa y garantizar su estabilidad para un giro consistente alrededor del mismo eje se aborda mediante la incorporación de un rodamiento en la oruga. El modelo elegido es 61818-2RS1, con unas dimensiones de 90x115x13 mm, y permite que el movimiento de la polea activa sea independiente de la chapa interior, evitando perturbaciones no deseadas. Para sostener este rodamiento se ha incluido un soporte que se fija a la chapa interior mediante tornillería.

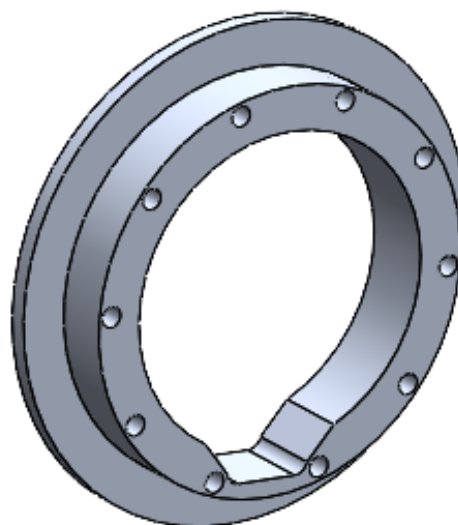
Este soporte del rodamiento no solo cumple la función de proporcionar un punto de apoyo para el rodamiento, sino que también agrega robustez al sistema en esta área crítica. La fijación del soporte a la chapa interior garantiza una conexión segura y estable, esencial para mantener la integridad estructural de la oruga, el diámetro sobre el que se apoya el rodamiento es de 90 mm para que encaje a la perfección con este, y en este caso se puede mecanizar mediante CNC en aluminio.

Inicialmente, el diseño del soporte del rodamiento presentaba geometrías exclusivamente circulares. Sin embargo, para permitir el paso del cableado del motor hacia el exterior, se introdujo una muesca en la parte inferior del soporte.

Ambos elementos se pueden apreciar en la figura 2.9b



(a) Rodamiento



(b) Soporte para el rodamiento

Figura 2.9: Rodamiento y soporte rodamiento

Motor polea activa

El servo motor sin escobillas seleccionado, del modelo RMD-X8S2 V3, presenta una geometría cilíndrica, lo cual lo hace altamente adecuado para integrarse en el diseño de la oruga. Para la fijación del motor, se disponen orificios roscados en la parte trasera, a través

de los cuales se atornilla desde la chapa interior. Estos tornillos pasan por el soporte del rodamiento, con la cabeza de los mismos quedando en la chapa. En la parte frontal del motor se encuentra el rotor, el cual se fija mediante tornillos a través de los orificios destinados para ello en la polea activa. Este proceso garantiza que el motor quede completamente sujeto al resto de la estructura de la oruga.

Un aspecto notable es que no fue necesario diseñar el motor [16], ya que se obtuvo a través de un repositorio de elementos CAD, diseño que se puede ver en la figura 2.10

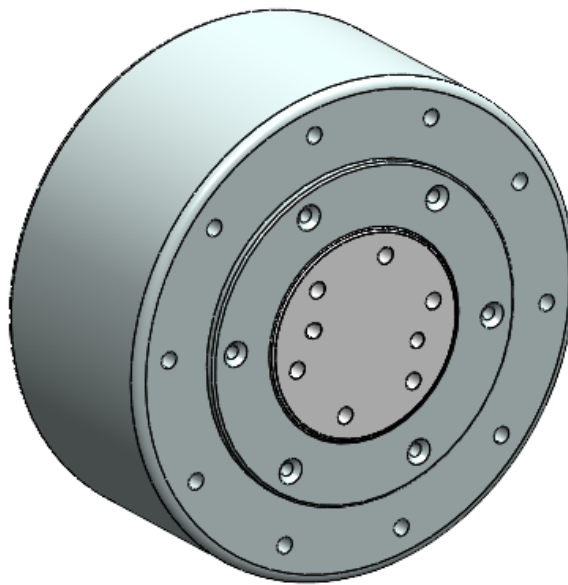


Figura 2.10: Motor polea activa

Polea activa

La polea activa visible en la figura 2.11 desempeña un papel crucial en la transmisión de la rotación desde el motor hacia la correa. Sus características de diseño están cuidadosamente consideradas para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable del sistema. Se ha considerado la mejor tecnología de fabricación para este componente la impresión 3D, que reduce considerablemente el peso de la oruga en comparación a si se fabricase en metal, y es capaz de soportar los esfuerzos a los que se va a someter, además de ofrecer una gran versatilidad para modificar el diseño final y conseguir el mejor resultado.

Entre las principales características se incluyen:

- **Geometría cilíndrica hueca:** La polea presenta una forma cilíndrica con un diámetro exterior de 152.79 mm, que cuenta con un espacio interior hueco, que aloja el motor. Este diseño facilita la integración del motor, con agujeros específicos para fijar el rotor del motor.

- **Rebaje para rodamiento:** La polea cuenta con un rebaje de 9mm de radio donde se instala el rodamiento, proporcionando soporte lateral a la polea. Este rodamiento asegura un movimiento suave y estable durante la rotación.
- **Agujero circular para el eje:** En un lateral, la polea presenta un agujero circular de 9 mm de diámetro a través del cual pasa el eje de la polea, permitiendo su fijación por este lado. Además del agujero tiene un refrentado hexagonal donde va alojada la cabeza del eje y que consigue que el eje gire solidario a la polea
- **Ranuras laterales para piñones:** En la superficie exterior de la polea, se encuentran ranuras laterales donde se enclavan los piñones de la correa. Estas ranuras, inicialmente diseñadas con dimensiones exactas, han sido ajustadas con unos milímetros de holgura para prevenir problemas de colisiones. Además, se ha incorporado una inclinación en los laterales para lograr un mejor ajuste de los piñones. El ancho final de las ranuras es de 8 mm, siendo el paso de 20 mm.
- **Ranura central:** Una ranura central de 20 mm en la superficie exterior sirve como alojamiento para los piñones de mayores dimensiones, proporcionando estabilidad al conjunto.

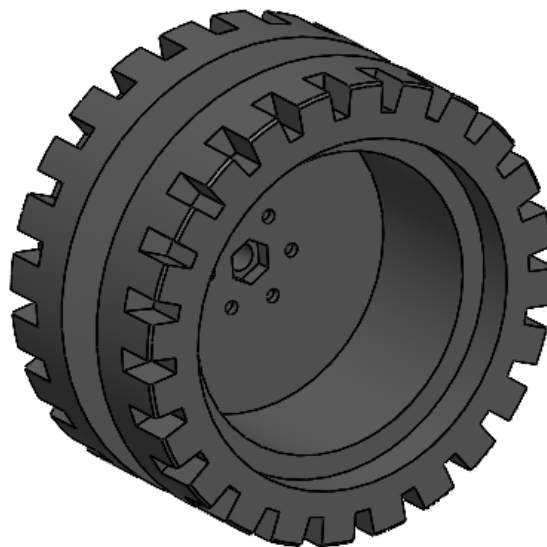


Figura 2.11: Polea activa

Eje polea activa y rodamiento

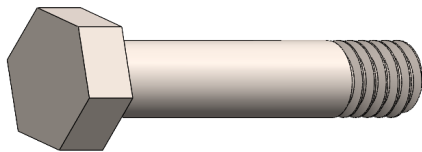
Como se mencionó anteriormente, el eje de la polea pasiva cumple una función crucial al proporcionar estabilidad a la polea activa, asegurando que gire alrededor de este eje sin desviaciones. Además de su papel estabilizador, el eje se convierte en un punto de apoyo

clave en la chapa exterior, actuando como unión entre la polea activa y la chapa y, por ende, aumentando la robustez del sistema.

El eje, que gira solidariamente con la polea activa, se fija a la chapa exterior. Sin embargo, esto plantea un problema, ya que no es deseable que la chapa exterior experimente fuerzas giratorias. Para abordar esta preocupación, se ha incorporado un rodamiento en la cara opuesta de la chapa. Este rodamiento permite independizar el movimiento del eje con respecto a la chapa, evitando así fuerzas rotatorias no deseadas.

La inclusión del rodamiento no solo resuelve el problema de las fuerzas giratorias en la chapa exterior, sino que también mejora la estabilidad y el rendimiento general del sistema al proporcionar una conexión más suave y libre de fricciones entre el eje y la estructura de soporte.

Tanto el eje exterior como el rodamiento asociado a él se pueden observar en la figura 2.12



(a) Eje exterior



(b) Rodamiento

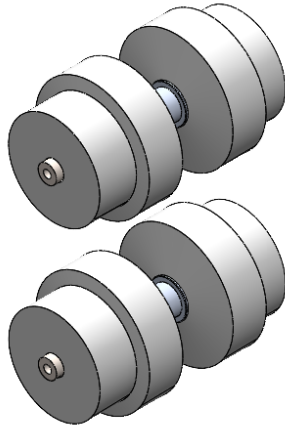
Figura 2.12: Eje exterior y rodamiento

2.2.5 Ruedas tensoras

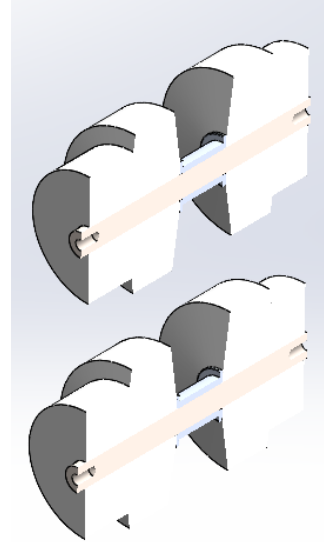
Las ruedas tensoras desempeñan un papel fundamental en el diseño de la oruga al proporcionar soporte y estabilidad a la correa en la parte central. Su objetivo principal es ofrecer un punto de apoyo sólido en esta zona, añadiendo robustez al conjunto y contribuyendo a la integridad estructural del sistema.

Además de su función de soporte, las ruedas tensoras desempeñan un papel clave en la tensión de la correa. Al brindar un punto de referencia central para la correa, ayudan a prevenir que esta se salga de su posición durante el movimiento. La adecuada tensión de la correa es esencial para garantizar un funcionamiento suave y eficiente de la oruga.

Son un total de dos ruedas tensoras una posicionada en la parte superior, y una en la parte inferior ambas idénticas, y la figura 2.13 muestra la disposición de los diferentes componentes que se introducirán a continuación.



(a) Conjunto ruedas tensoras



(b) Corte conjunto ruedas tensoras

Figura 2.13: Conjunto ruedas tensoras con corte

Eje tensor

El eje tensor de la figura 2.14 geoméricamente hablando es simplemente un cilindro que no tiene como objetivo girar, por lo que en ambas caras laterales se le han hecho dos taladros roscados que van atornillados a los dos paneles laterales proporcionando la rigidez comentada en la introducción de este apartado. Al tratarse de un eje de sólo 8 mm de diámetro y que debe dar robustez al sistema se debe fabricar en acero.

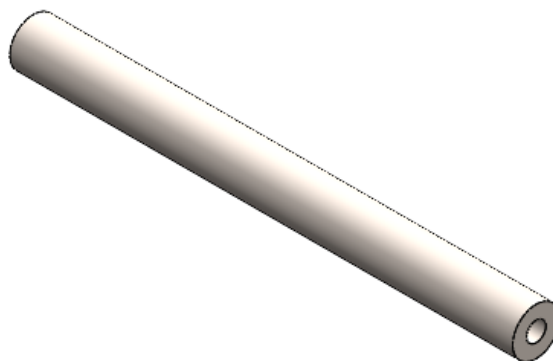


Figura 2.14: Eje tensor

Poleas centrales

El diseño de las poleas centrales se basa en la geometría de un cilindro con dos diámetros distintos, siendo el diámetro más grande de 50 mm de diámetro, el que entra en contacto con la cara plana de la correa, y el diámetro más pequeño de 40 mm en el que tocan los piñones laterales de la correa. Es notable que los lados del diámetro más grande presentan un chaflán que coincide con el ángulo de los piñones, proporcionando así un ajuste más preciso y seguro con los piñones. Este detalle mejora la interacción y reduce el desgaste entre la polea central y los piñones de la correa.

Internamente, la polea central cuenta con un taladro que atraviesa por completo la pieza, proporcionando el alojamiento para el eje central. Este eje se fija en dos ejes, pero para el tercer eje, longitudinal, se utiliza una arandela entre la polea central y la chapa exterior. Esta disposición asegura la fijación robusta de la polea central al sistema, manteniendo la estabilidad y alineación necesarias para su correcto funcionamiento.

Destacar que hay dos de estas poleas por cada polea central completa, colocadas de forma simétrica cubriendo así ambos laterales de la correa. Su diseño es visible en la figura 2.15, y están fabricadas en material plástico adecuado para mecanizar en CNC como el Nylon o el ABS.

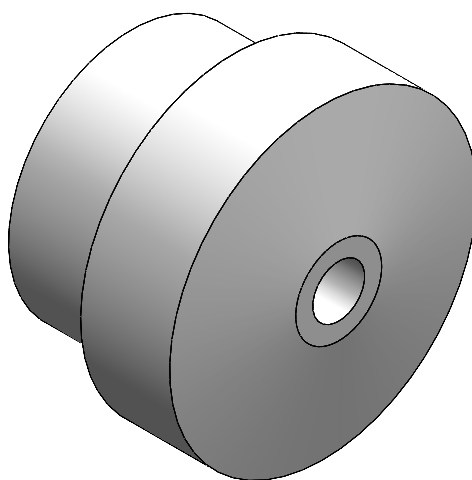
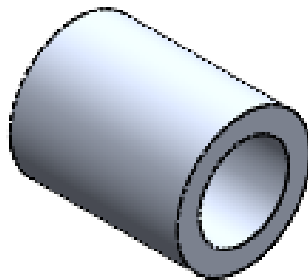


Figura 2.15: Polea central

Separador central

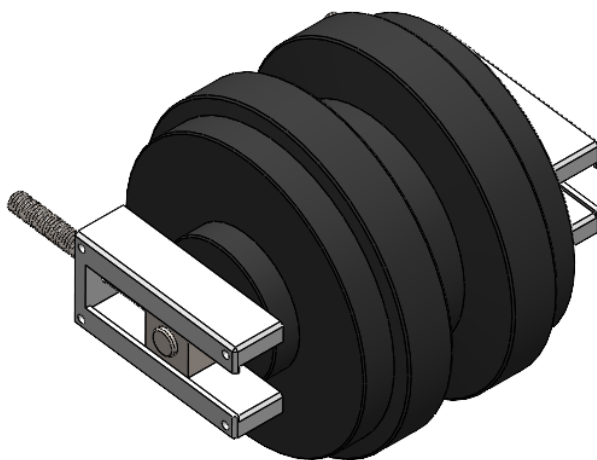
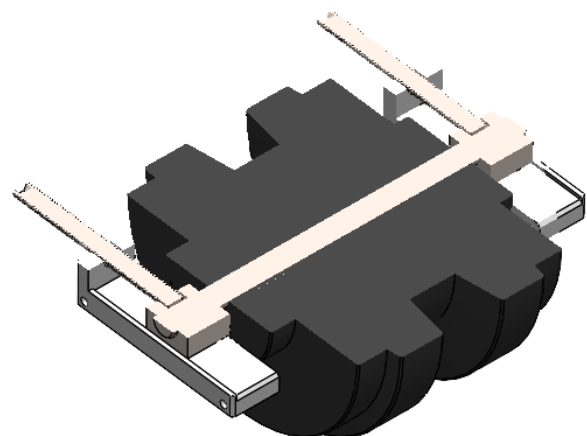
El separador central, representado en la figura 2.16, es un cilindro hueco diseñado con la única finalidad de mantener una distancia adecuada entre las dos poleas centrales. Su función principal es actuar como un elemento de separación, estando en contacto con las caras interiores de ambas poleas centrales y asegurando que estas queden posicionadas en la distancia correcta.

**Figura 2.16:** Separador central

2.2.6 Piezas polea pasiva

La función principal de esta polea es asegurar la fijación de la parte final del recorrido de la correa, completando de esta manera todas las poleas necesarias para el movimiento adecuado de la oruga, la disposición de los componentes de este conjunto se muestra en la figura 2.17.

Para regular la tensión de la oruga, se ha implementado un sistema de tensado inspirado en el sistema utilizado en las cadenas de las motocicletas. Este sistema consta de tres componentes principales: una parte fija, una parte móvil y un espárrago. Estos elementos trabajan en conjunto para ajustar y mantener la tensión adecuada en la correa. El sistema ideado fija el eje de la polea pasiva en ambos extremos, utilizando las piezas móviles. Estas piezas móviles pueden ser posicionadas en la ubicación adecuada gracias al espárrago. El espárrago se fija mediante una tuerca y una contratuerca, permitiendo así ajustar la tensión de la oruga de manera precisa.

**(a)** Conjunto polea pasiva**(b)** Corte conjunto polea pasiva**Figura 2.17:** Conjunto polea pasiva con corte

Polea pasiva

La polea pasiva que se puede ver en la figura 2.18 presenta similitudes con las poleas centrales. En cuanto a su tecnología de fabricación, al igual que con la polea activa, se ha elegido la impresión 3D. Su diámetro exterior es de 100 mm, ajustando el resto de ranuras a las dimensiones de la correa.

Cuenta con tres ranuras: dos laterales y una central, por las cuales los piñones de la correa pueden deslizarse libremente. Estas ranuras están diseñadas con chaflanes que ajustan el contorno de los piñones, asegurando así que sigan la trayectoria adecuada. Además, incorpora un taladro circular en la parte central para albergar el eje de la polea, permitiendo su giro. En las partes exteriores, la polea presenta rebajes que no solo evitan rozamientos innecesarios sino que también facilitan el atornillado del sistema de tensión, del cual se hablará a continuación.

Un detalle importante a destacar es que esta pieza no es simétrica longitudinalmente, a pesar de lo que podría parecer a simple vista. El conjunto central de las ranuras está desplazado longitudinalmente para asegurar que la oruga quede centrada y a la altura adecuada con respecto a la polea activa. Este desplazamiento es necesario debido a que el conjunto que forma la polea activa incluye un soporte de rodamiento en uno de los laterales, lo cual agrega un espesor que debe tenerse en cuenta. Este desplazamiento garantiza que la correa quede centrada entre los dos paneles laterales, incluso teniendo en cuenta el espesor adicional del soporte de rodamiento en la polea activa.



Figura 2.18: Polea pasiva

Eje polea pasiva

El eje de la polea pasiva es un cilindro macizo que cumple exclusivamente la función de sostener y posicionar la polea pasiva en la posición adecuada, y se debe fabricar en acero. Se puede observar en la figura 2.19

Destacar también que éste no tendrá una posición fija si no que podrá desplazarse a lo largo de las ranuras de los paneles laterales gracias al sistema de tensado.

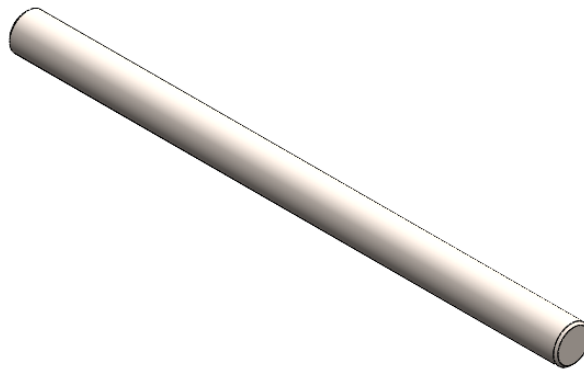


Figura 2.19: Eje polea pasiva

Parte fija tensado

Las dos partes fijas vistas en la figura 2.20 del sistema de tensado están aseguradas a los paneles laterales mediante tornillos en la parte exterior, utilizando cuatro taladros ubicados en las esquinas. Estas partes fijas tienen una forma rectangular, pero en su parte interior cuentan con un hueco fácilmente identificable que sirve como guía o ranura por donde se desplazan las partes móviles del sistema de tensión. Para evitar que la parte móvil se salga de este carril, se ha incorporado una pequeña protuberancia en los bordes que actúa como tope, impidiendo que la parte móvil se salga accidentalmente. El taladro de mayor tamaño ubicado en la parte lateral de la pieza cumple la función de dejar pasar el espárrago que atravesará la parte móvil y hará la presión necesaria en el eje para que quede inmóvil.

Inicialmente, se consideró la posibilidad de incorporar muescas a lo largo del desplazamiento de la parte móvil. Esto habría permitido ajustar manualmente la alineación concéntrica de las dos partes móviles y, por ende, asegurar que el eje quede completamente perpendicular a los paneles laterales. Sin embargo, por razones de facilitar la fabricación, se ha decidido que en el futuro se agregarán pegatinas con esta función.

Para fabricarlas es buena opción usar el mismo material que las poleas centrales, es decir material plástico adecuado para mecanizar en CNC como el Nylon, aunque también se podría usar aluminio. Las dimensiones de la ranura interior es de 16x56 mm, lo que permite a la parte móvil encajar a la perfección y poder deslizarse a lo largo de la ranura de los paneles.

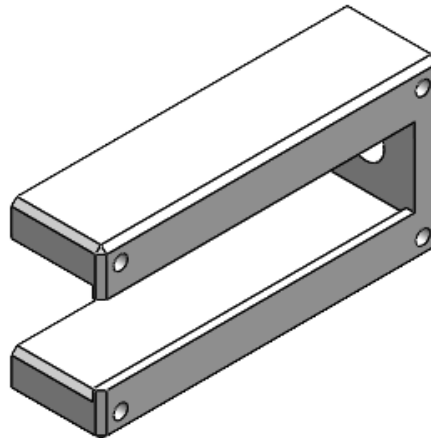


Figura 2.20: Parte fija tensado

Parte móvil tensado

La parte móvil del sistema de tensado, representada en la figura 2.21, tiene una forma cúbica, con un lado de 16 mm, y fabricado en aluminio. En la parte central, se encuentra un agujero por el cual debe pasar el eje de la polea pasiva. En el lateral de la parte móvil, se encuentra otro agujero por donde entra el espárrago. Por este agujero lateral se desliza el espárrago, el cual desempeña un papel fundamental en la aplicación de la tensión adecuada a la oruga. El espárrago, al ser presionado mediante una tuerca y contratuerca, inmoviliza el eje de la polea pasiva, asegurando así la posición deseada de la parte móvil.

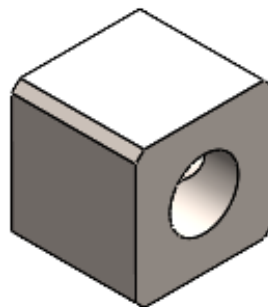


Figura 2.21: Parte móvil tensado

Espárrago

El espárrago que se puede ver en la figura ??, es un elemento comercial seleccionado para esta aplicación, se asemeja a un tornillo pero carece de cabeza. La elección del espárrago en lugar de un tornillo convencional se basa en su facilidad de montaje, especialmente durante la fase de ajuste, donde se apretará y aflojará repetidamente. Además, desde el punto de vista estético, el uso de un espárrago suele ser más favorable.

La función principal del espárrago, como se mencionó anteriormente, consiste en presionar el eje de la polea pasiva y asegurarlo en su posición.

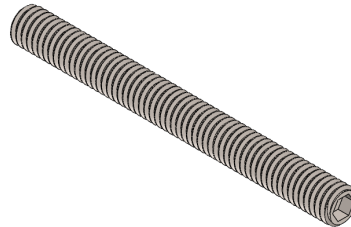


Figura 2.22: Espárrago

2.2.7 Correa

La correa constituye la parte externa que envuelve todos los demás elementos de la oruga y es la interfaz directa con la superficie de apoyo. Su función principal es facilitar el movimiento de la oruga y, por ende, del robot, gracias a los tacos ubicados en su cara exterior. Estos tacos permiten la adherencia al terreno.

En la parte interior de la correa, se encuentran los tacos que se desplazan junto con la polea activa, generando el movimiento giratorio de la correa. Fabricada en un material plástico, la correa proporciona la flexibilidad necesaria para adaptarse al movimiento de la oruga.

En las secciones siguientes, se abordarán los distintos modelos de correas diseñados. Aunque, en términos prácticos, todas son idénticas a la correa real, se han realizado algunos ajustes específicos para las simulaciones que se presentarán en el capítulo de simulación 4.

Correa real

En la figura 2.23 se puede ver la correa real diseñada tomando medidas en el laboratorio de las correas de que se disponían. Ésta se usa en la simulación de la correa real 4.2, es de material plástico flexible, tiene un perímetro de un metro, un ancho de 80 mm y un paso entre dientes de 20 mm.



Figura 2.23: Correa real

Correa seccionada

El perfil de la correa, cuando se observa en posición horizontal, revela cuatro geometrías distintas: dos semicircunferencias y dos líneas rectas. Para facilitar la simulación y el análisis, se ha optado por realizar secciones en los puntos de unión de estas cuatro geometrías. Posteriormente, se han convertido las semicircunferencias en circunferencias completas. Siguiendo estos trazados, se ha diseñado la correa dividida en cuatro secciones, como se ilustra en la figura 2.24, con el propósito de llevar a cabo la simulación específica de la correa seccionada, como se detalla en el capítulo de simulación 4.4.



(a) Correa polea pasiva



(b) Correa polea pasiva



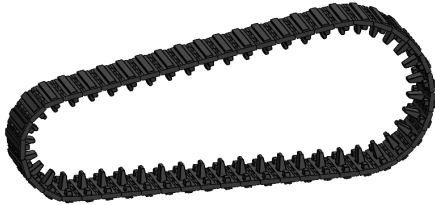
(c) Correa parte central

Figura 2.24: Correa seccionada

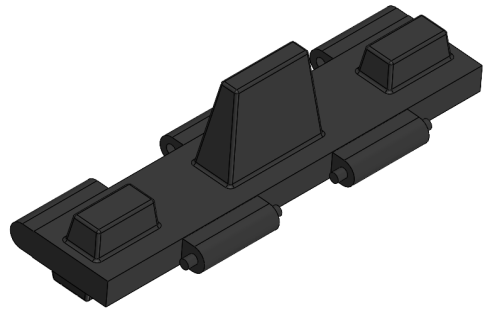
Correa con eslabones

El formato de correa propuesto está compuesto por cincuenta eslabones que están enlazados entre sí. Este diseño se inspira en las cadenas utilizadas comúnmente en tanques y algunos tipos de tractores agrícolas. La elección de este diseño específico tiene como objetivo facilitar la simulación del modelo de eslabones 4.3, proporcionando una representación fiel de la estructura y el movimiento de la correa.

En la figura 2.25 se presenta tanto un eslabón individual como la visualización completa de todos los eslabones enlazados que forman la correa. El eslabón se ha diseñado tomando una franja de la correa original que incluya los piñones, y se le ha incluido en los laterales unos elementos que permiten conectar la parte delantera y trasera de dos eslabones consecutivos, permitiendo así ensamblar la correa.



(a) Correa con eslabones enlazados

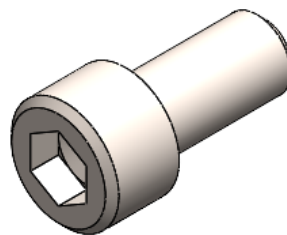


(b) Eslabón

Figura 2.25: Correa seccionada

2.2.8 Elementos comerciales

Para fijar los distintos elementos de la oruga, se han seleccionado tornillos de cabeza cilíndrica para llave allen, debido a su facilidad de montaje y su idoneidad para este tipo de aplicaciones. Aunque no todos los tornillos tienen la misma longitud, en la figura 2.26 se presenta un ejemplo para ilustrar el tipo de tornillo utilizado.

**Figura 2.26:** Tornillo

En las ruedas tensoras y la polea activa, se han incorporado arandelas con el propósito de aislar los movimientos de las distintas partes. El modelo de arandela se muestra en la figura 2.26.

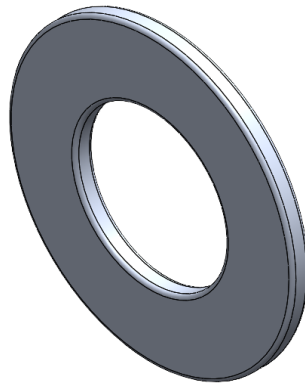


Figura 2.27: Arandela

Asimismo, se han utilizado tuercas en los ejes de la reductora y la polea activa, además de las necesarias en el espárrago del sistema de tensado. Aunque las tuercas no tienen todas la misma métrica, la figura 2.28 presenta un ejemplo para representar este componente.

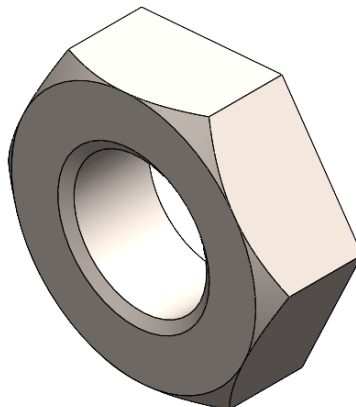


Figura 2.28: Tuerca

Es relevante destacar que el diseño de estas piezas se ha simplificado gracias a Solidworks, que proporciona librerías con una amplia variedad de piezas comerciales como tornillos, arandelas y tuercas. El acceso a estas librerías facilita significativamente el proceso de diseño, ahorrando tiempo y asegurando la incorporación de elementos estandarizados.

2.3 Conclusión

En este capítulo, se ha evidenciado que Solidworks es un software altamente competente en el diseño de piezas en 3D. Con una curva de aprendizaje rápida, proporciona todas las herramientas CAD necesarias para la creación de cada componente de manera eficiente. La compatibilidad con varios formatos CAD y la capacidad de realizar ediciones posteriores han sido aspectos clave para adaptar y evolucionar las diferentes versiones de las piezas a lo largo del proceso de diseño.

Es relevante destacar que el mundo del diseño 3D está ampliamente difundido en la actualidad, lo que facilita la búsqueda y utilización de una variedad de diseños disponibles en internet. Esta disponibilidad de recursos preexistentes puede agilizar y optimizar el proceso de diseño al ofrecer piezas y sistemas reutilizables para nuevos proyectos.

En última instancia, como conclusión, se ha logrado desarrollar un diseño completamente funcional que cumple tanto con los requisitos funcionales como estéticos. El diseño queda abierto a posibles modificaciones necesarias para la fabricación del sistema.

Capítulo 3

Ensamblaje en Solidworks

3.1 Introducción

Este capítulo sirve como continuación del anterior, ya que con todas las piezas diseñadas, el siguiente paso es ensamblarlas para obtener la oruga completa. Para llevar a cabo este proceso, se ha utilizado nuevamente el software Solidworks, el cual facilita el ensamblaje de las distintas piezas. Al abrir el archivo de ensamblaje vacío, el procedimiento consiste en incorporar componentes y vincularlos entre sí mediante relaciones de posición. Las relaciones más utilizadas son las siguientes:

- Coincidente: Se emplea para fijar los planos de dos caras de dos componentes.
- Paralelo: Hace que dos caras de dos componentes distintos sean siempre paralelas.
- Perpendicular: Crea una relación de perpendicularidad entre dos caras de dos componentes.
- Tangente: Establece una relación tangente entre la cara plana de un componente y la cara cilíndrica de otro.
- Concéntrico: Consigue que dos superficies cilíndricas sean concéntricas.

Estas relaciones son esenciales para asegurar la correcta alineación y disposición de las piezas en el ensamblaje final.

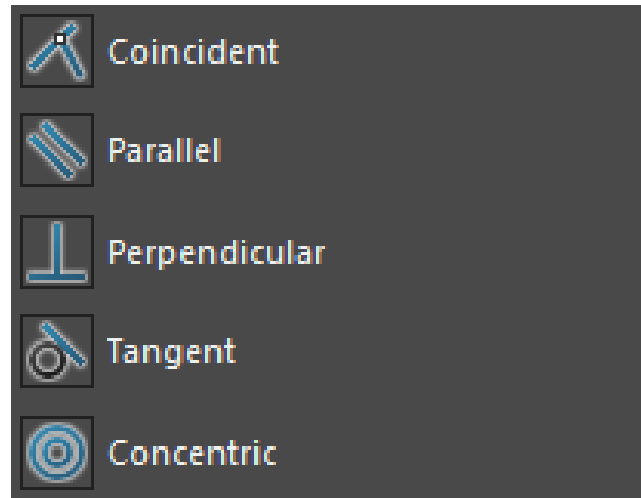


Figura 3.1: Relaciones de posición

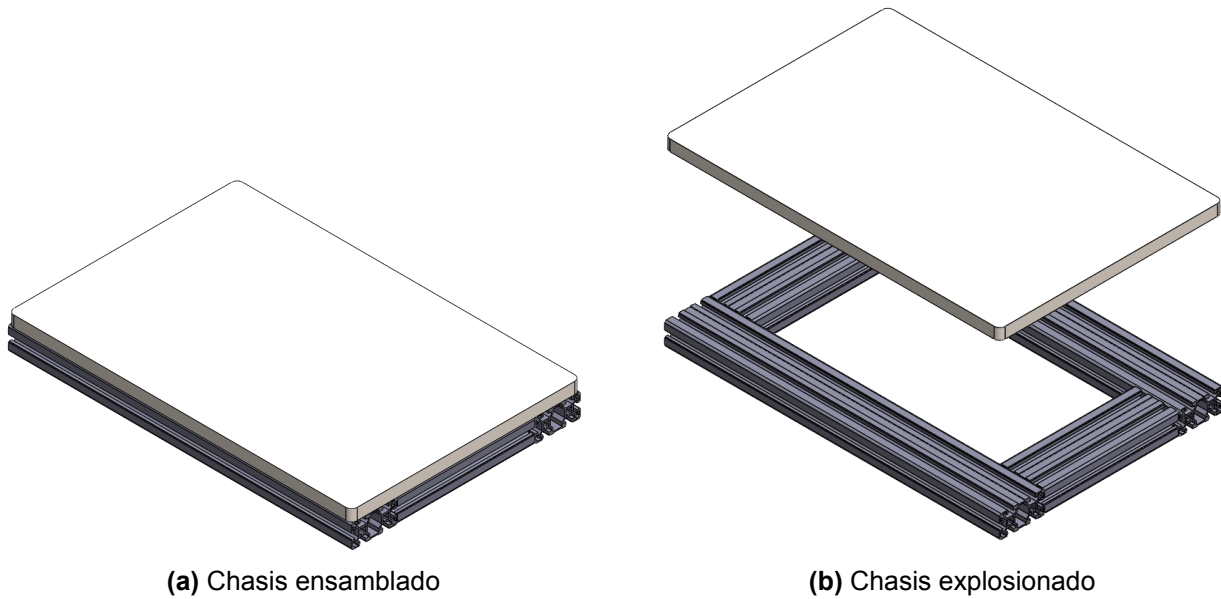
El capítulo se va a dividir en varias secciones para poder comprender los distintos ensamblajes que se han llevado a cabo.

3.2 Subensamblajes de la oruga

En esta sección, se presentarán los diferentes grupos de piezas o subensambles siguiendo un orden lógico e intuitivo para el ensamblaje de la oruga. La organización de las piezas se realiza agrupándolas según bloques funcionales para facilitar el proceso de ensamblaje y proporcionar una estructura clara y coherente. Además se incluirán explosionados para facilitar la comprensión del ensamblaje.

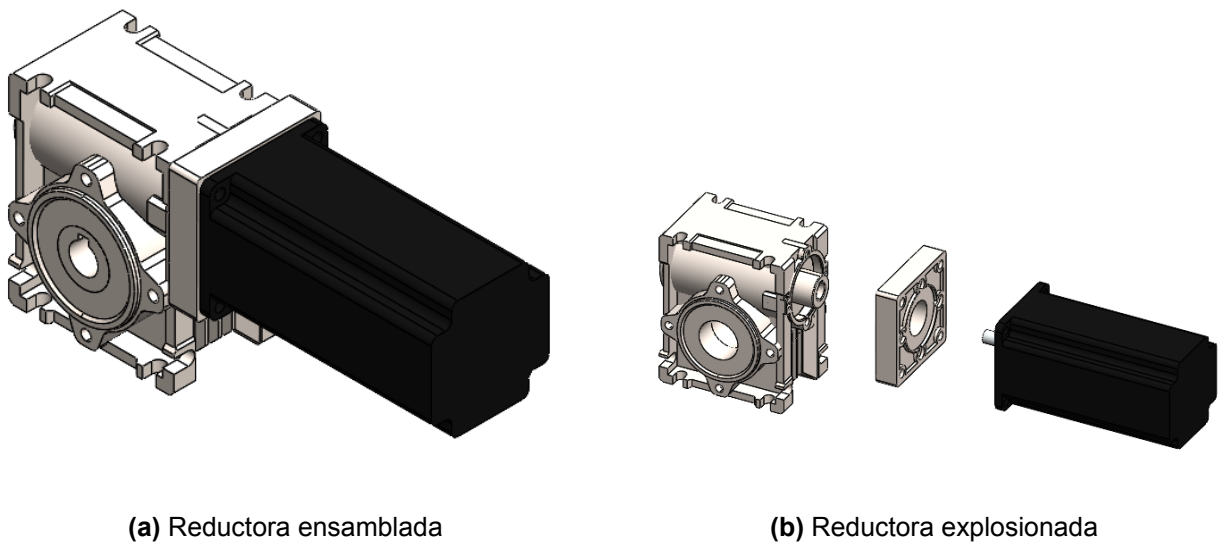
3.2.1 Subensamblaje chasis

El ensamblaje del chasis se realiza exclusivamente mediante relaciones de coincidencia entre las diferentes caras de los sólidos. Inicialmente, se fijan los cuatro perfiles diferentes formando un rectángulo, y posteriormente se coloca la plancha de metal sobre ellos para completar la estructura. En la figura 3.2 se ve el chasis completo.

**Figura 3.2:** Chasis

3.2.2 Subensamblaje motor y reductora

El eje de rotación del motor se sitúa directamente dentro de la parte de la reductora, con la pieza intermedia actuando como acople entre ambos elementos. Esta disposición se puede apreciar claramente en la figura 3.3.

**Figura 3.3:** Reductora

3.2.3 Subensamblaje polea activa

Este subensamblaje es el más crucial y complejo de la oruga. En él, se utilizan principalmente relaciones de posición de concéntrico para alinear todos los componentes en el mismo eje, además de relaciones de coincidencia para establecer los elementos que deben estar en contacto.

En las figuras 3.5 y 3.4, se proporciona una representación desglosada del ensamblaje para visualizar con mayor claridad los elementos que componen el subensamblaje y el orden de alineación. El componente principal es la polea activa, a la cual se atornilla el motor que le transmitirá el movimiento. A través de la polea activa pasa el eje exterior, sostenido por el rodamiento que, a su vez, está atornillado a la chapa exterior. El siguiente elemento es el rodamiento y el soporte del rodamiento, que se colocan a continuación del motor. Detrás de estos elementos va la chapa interior, aunque no se haya incluido en este subensamblaje para mayor claridad. Finalmente, detrás de la chapa interior, se encuentra el eje que conecta con la reductora.

La finalidad principal de este subensamblaje es mover la correa y proporcionar movimiento a la oruga, al mismo tiempo que se sujeta y fija adecuadamente en ambos extremos de las chapas.



Figura 3.4: Polea activa ensamblada

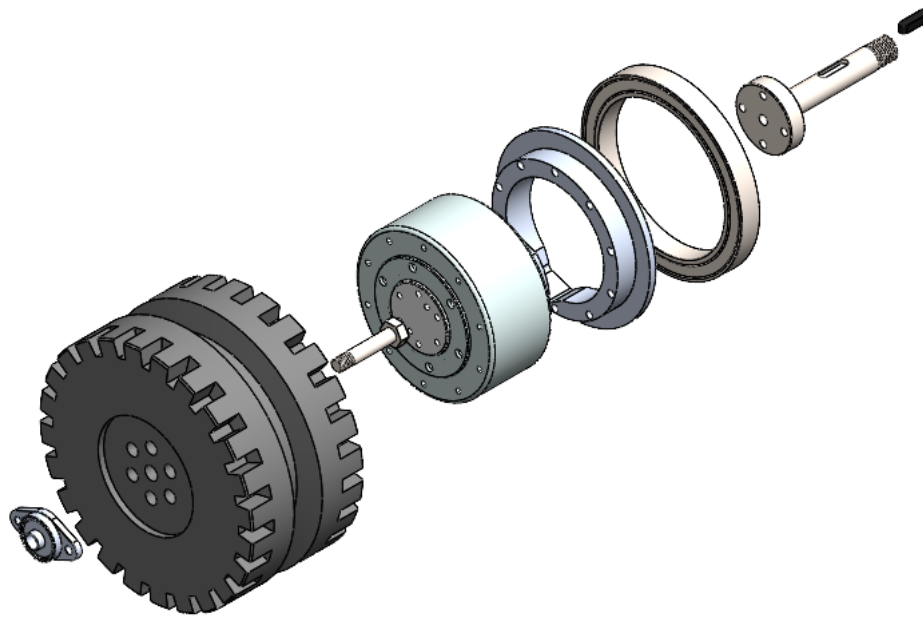


Figura 3.5: Polea activa explosionada

3.2.4 Subensamblaje poleas centrales

En la figura 3.6, se presenta el ensamblaje de las poleas centrales, compuesto por las propias poleas en los extremos, con el eje ubicado en la parte interior. En el centro de ambas poleas se encuentra el separador, acompañado de arandelas para evitar rozamientos innecesarios.

Al fijar estas poleas mediante tornillos a las chapas, se brinda robustez a la oruga y se logra mantener la cadena tensa en todo momento. Además, proporciona apoyo cuando las irregularidades del terreno hacen que esta parte de la oruga esté en contacto con el suelo.

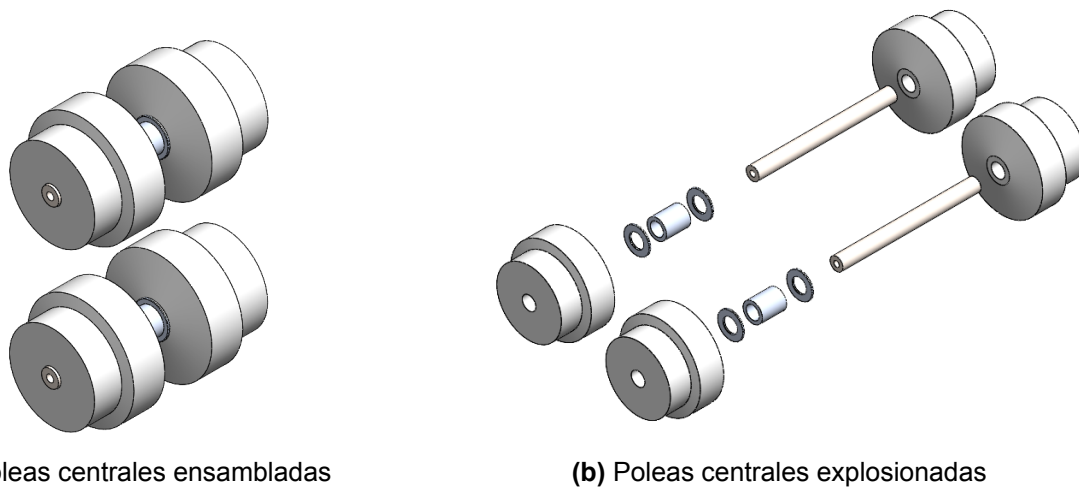


Figura 3.6: Poleas centrales

3.2.5 Subensamblaje polea pasiva

La polea pasiva en sí misma es solo un componente, pero en este ensamblaje también se incluye el sistema de tensado, compuesto por el espárrago y las partes fija y móvil del sistema de tensión. Utilizando relaciones de concéntrico y coincidencia adecuadas, se logra que el eje de la polea pasiva, y por ende la propia polea, pueda desplazarse a lo largo del carril que posee la parte fija del sistema de tensión. Esto permite ajustar la posición de este conjunto, que tensa la correa, ya que esta es la última polea de la oruga. El ensamblaje descrito se puede observar en la figura 3.7 y en la figura 3.8 su explosionado.

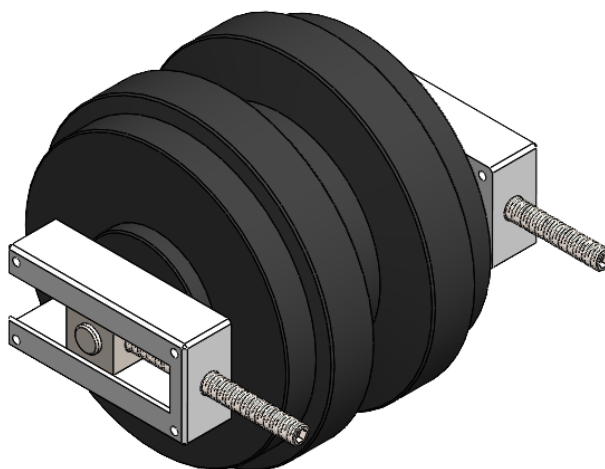


Figura 3.7: Polea pasiva ensamblada

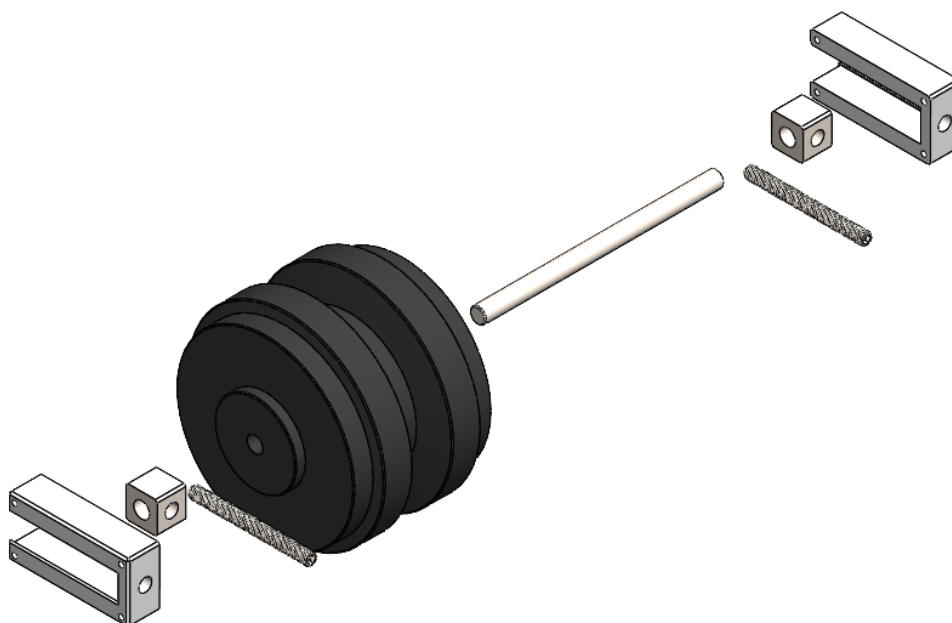


Figura 3.8: Polea pasiva explosionada

3.3 Subensamblajes para simulación

El ensamblaje final debe ser el mismo tanto para la fabricación como para la simulación. Sin embargo, para la simulación realizada en Simulink, se requiere un ensamblaje específico que cumpla con ciertas condiciones. Por esta razón, se ha creado un segundo ensamblaje.

Las condiciones para obtener un modelo apropiado para la simulación son simplemente dividir el ensamblaje en varios subensamblajes organizados por conjuntos que se muevan de forma solidaria. Esto permite que, al ensamblar los subensamblajes, si se liberan las relaciones de posición que bloquean el giro tanto de la reductora como del motor de la polea activa, estos sean capaces de girar.

Esta misma condición podría aplicarse al ensamblaje anterior, pero complicaría mucho el modelo obtenido al importar la oruga desde Solidworks hacia Simulink. Se detallará más en el Capítulo 4 4.

3.3.1 Subensamblaje simulación partes fijas

Este subensamblaje incluye la mayoría de los componentes, excluyendo solo las poleas, la reductora y la correa. Se ha estructurado de esta manera porque ninguno de los componentes de este subensamblaje tiene que girar o rotar entre sí.

Es relevante señalar que para este subensamblaje se han dividido en rotor y estátor tanto la reductora como el motor de la polea activa, permitiendo así simular el giro de ambos

componentes.

El único movimiento que experimentará el subensamblaje es una rotación con respecto a la reductora, lo que permite que la oruga se incline.

El ensamblaje y el explosionado se pueden observar en las figuras 3.9 y 3.10, respectivamente.

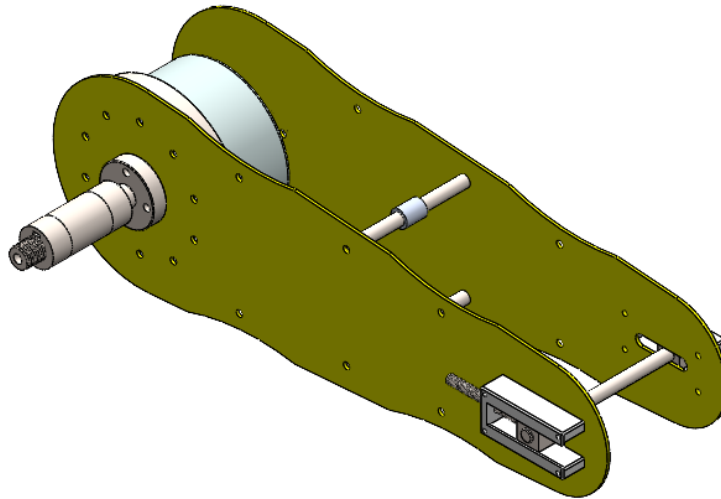


Figura 3.9: Partes fijas ensambladas

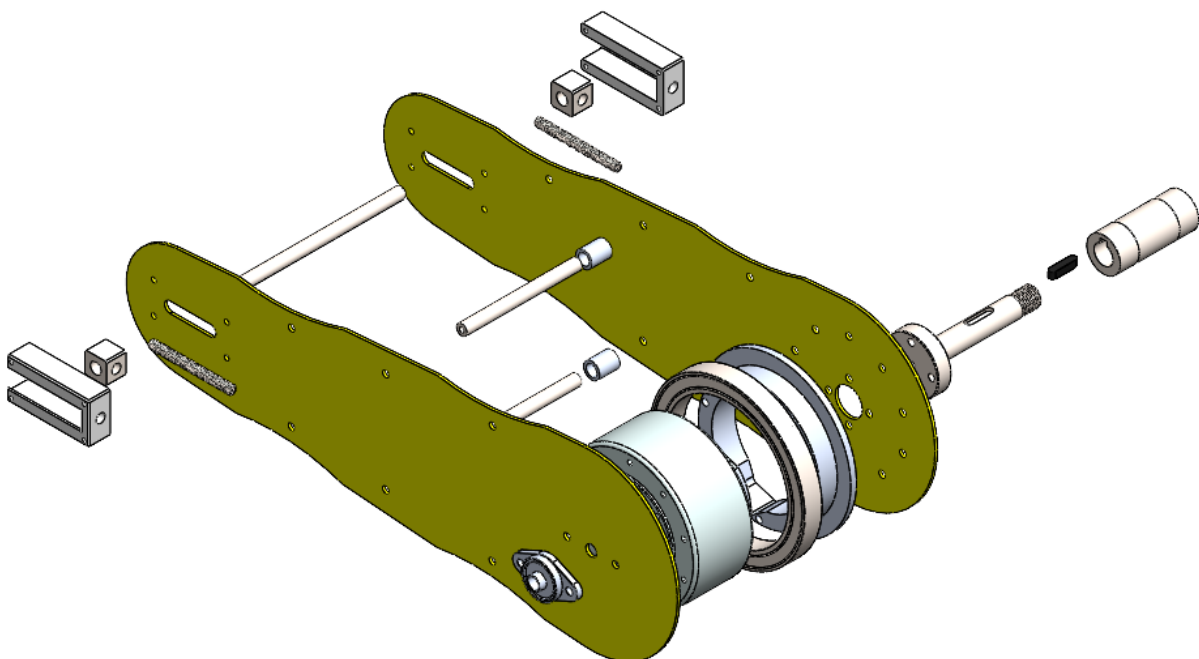


Figura 3.10: Partes fijas explosionadas

3.3.2 Subensamblaje simulación polea activa

El subensamblaje mostrado en la figura 3.11 incluye la polea activa, el eje exterior y el rotor del motor. Estos elementos girarán solidariamente con respecto al ensamblaje del apartado anterior, lo que permite el giro de la correa.

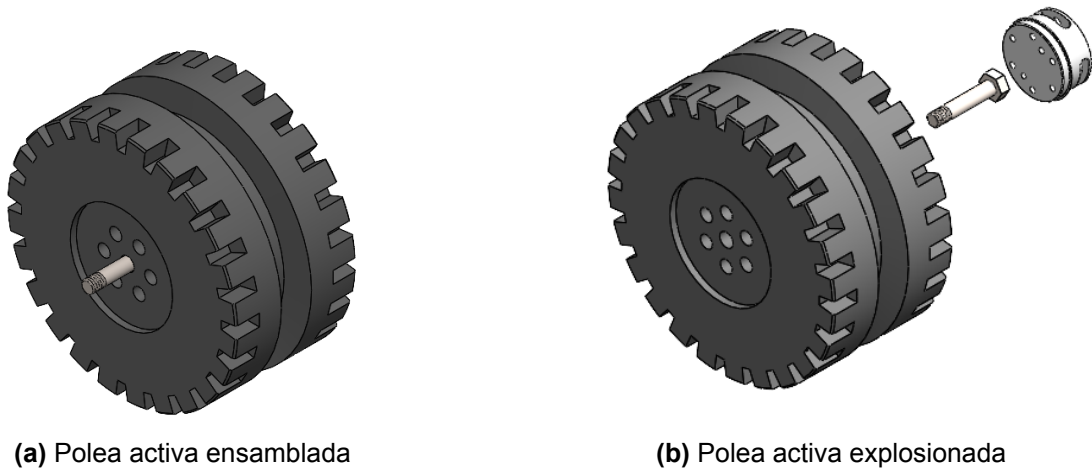


Figura 3.11: Polea activa

3.3.3 Subensamblaje simulación poleas centrales

Simplemente se aíslan las poleas centrales del resto del ensamblaje según se ve en la figura 3.12.

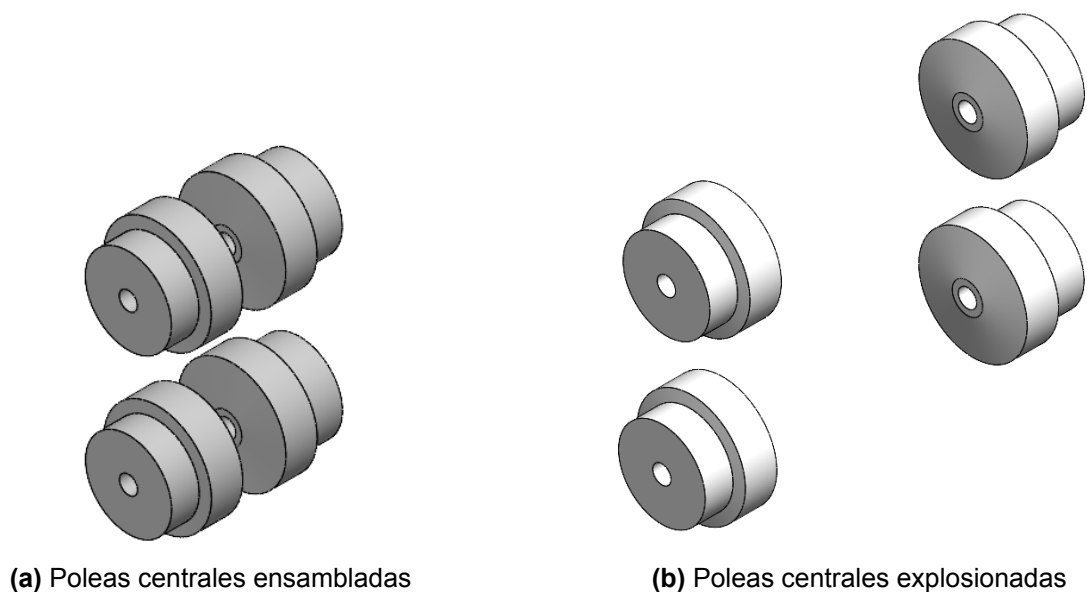


Figura 3.12: Poleas centrales

3.3.4 Subensamblaje simulación polea pasiva

El último subensamblaje esta compuesto tan sólo por la polea pasiva, la cual girará libremente en la simulación alrededor del eje de la polea pasiva. Se puede ven en la figura 3.13.



Figura 3.13: Polea pasiva

3.4 Ensamblaje completo

Si se ensamblan todos los subensamblajes que se han desarrollado en los dos apartados anteriores, se obtiene el ensamblaje completo.

Como se puede apreciar en la figura 3.14, se deben montar los tres conjuntos de poleas entre la chapa interior y la chapa exterior, además de colocar la reductora en el eje correspondiente.

En el caso del ensamblaje de simulación, tan solo consiste en colocar el rotor de la reductora en su cuerpo, de igual forma con el rotor del motor de la correa activa. También se debe colocar de forma concéntrica las poleas centrales y la pasiva en sus correspondientes ejes.

En la figura 3.15, se muestra el explosionado de la oruga completa, lo que permite ver en detalle todos los elementos de la oruga en su posición final.

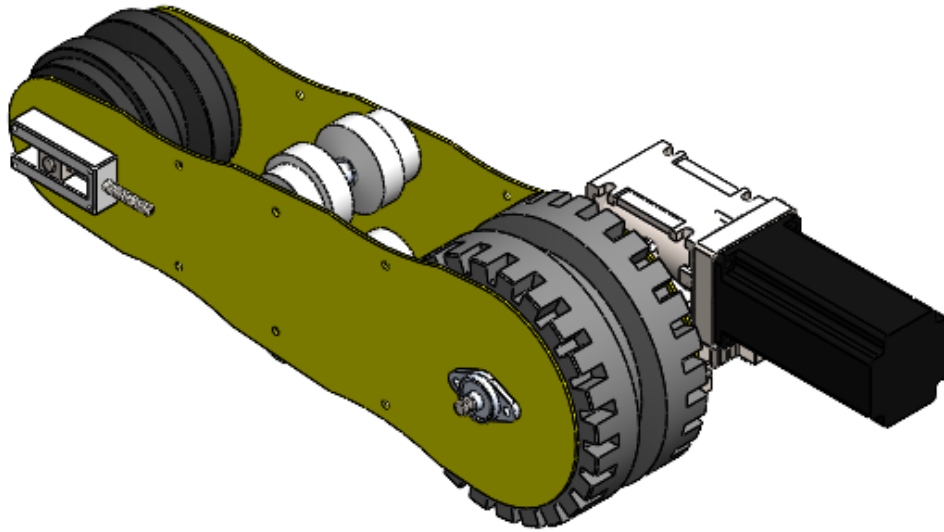


Figura 3.14: Ensamblaje oruga

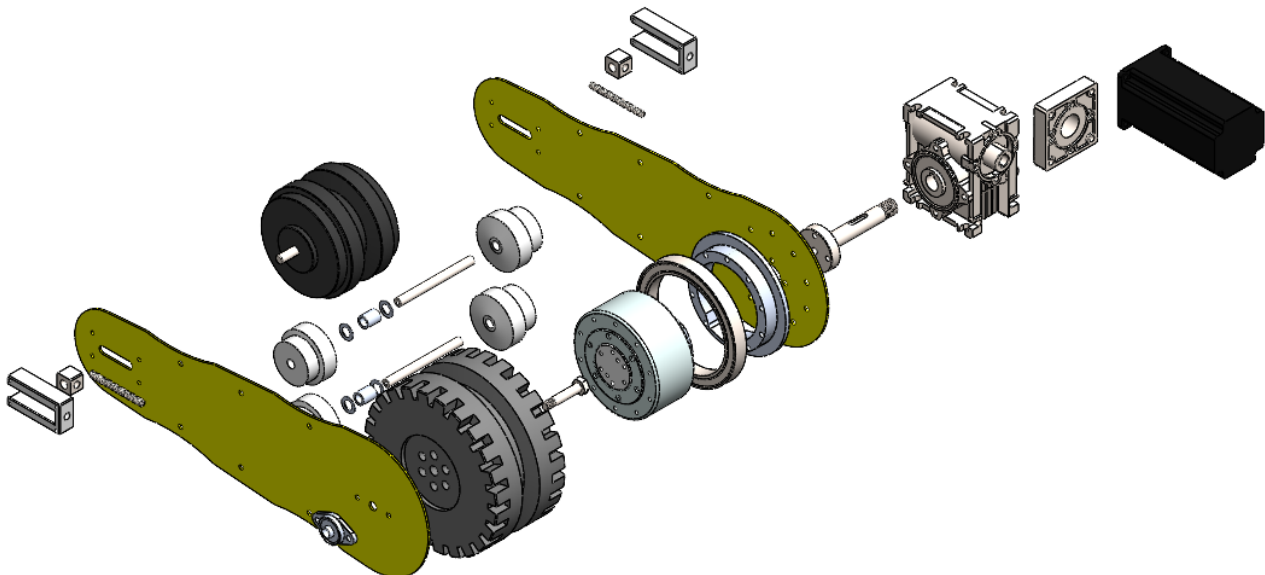


Figura 3.15: Explosionado oruga

Una vez con el ensamblaje de la oruga es el momento de incluir la correa. Se va a diferenciar entre los distintos modelos de correa que se han diseñado para realizar las diversas simulaciones.

3.4.1 Ensamblaje de la oruga con la correa real

La figura 3.16 muestra el diseño de la oruga real completa.

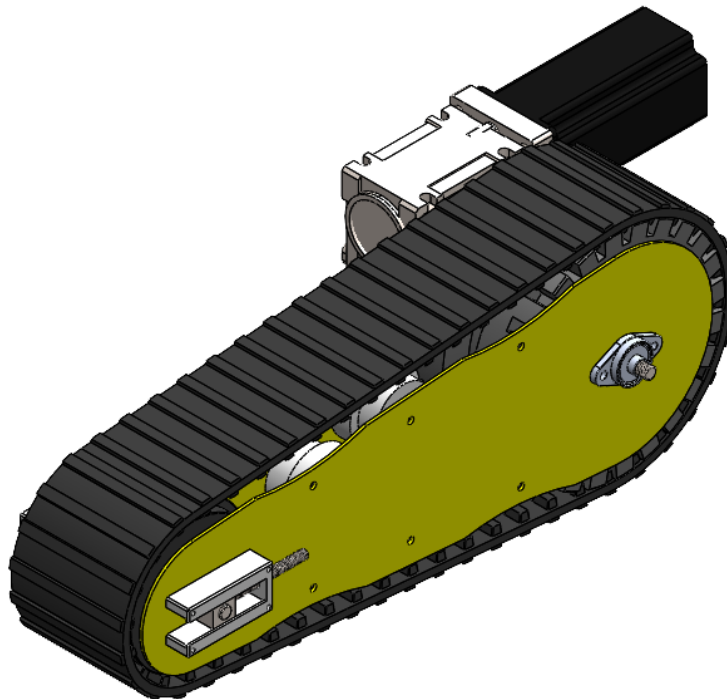


Figura 3.16: Ensamblaje de la oruga con la correa real

3.4.2 Ensamblaje de la oruga con la correa seccionada

Se puede ver en la figura 3.17 la apariencia del modelo de la correa seccionada. A simple vista puede parecer idéntico, pero si se mira en el espacio interior entre las chapas, en superficie exterior tanto de la correa activa como de la pasiva se puede ver que la correa rodea por completo a estas poleas, siendo este un modelo que no es realista pero facilitará una de las simulaciones.

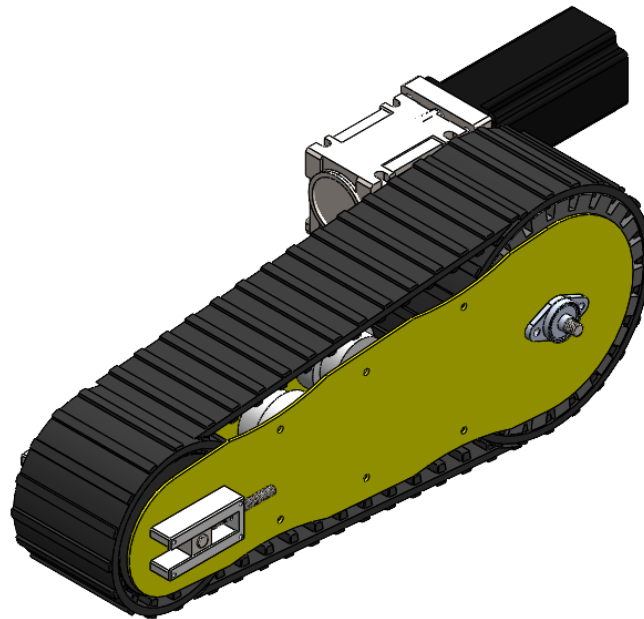


Figura 3.17: Ensamblaje de la oruga con la correa seccionada

3.4.3 Ensamblaje de la oruga con la correa de eslabones

Este último ensamblaje, que se muestra en la figura 3.18, representa cómo se han ensamblado los distintos eslabones de la correa alrededor del perímetro que deben ocupar. Se ha tenido cuidado de ubicar los piñones en las ranuras de la correa activa sin que existan colisiones.

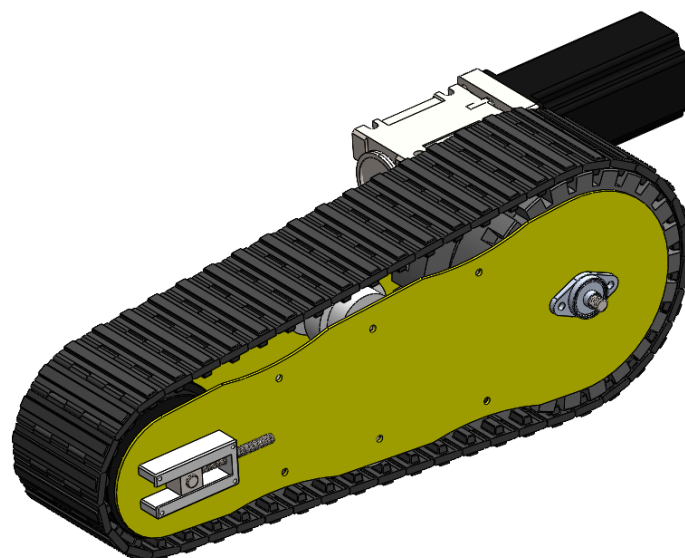


Figura 3.18: Ensamblaje de la oruga con la correa de eslabones

3.4.4 Robot completo con las cuatro orugas

Finalmente en la figura 3.19 se debe mostrar como se ve el robot completo con las cuatro orugas conectadas al chasis.

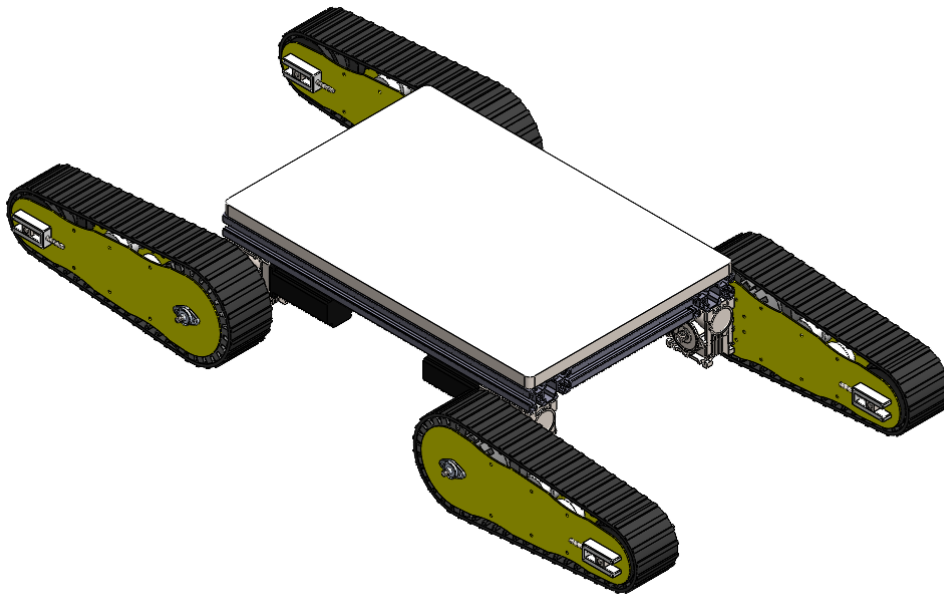


Figura 3.19: Ensamblaje del robot con cuatro orugas

3.5 Conclusión

A lo largo del capítulo, se ha destacado la eficacia de Solidworks para realizar ensamblajes mediante relaciones de posición. Sin embargo, es importante señalar como aspecto negativo que, a pesar de la comodidad que brinda Solidworks para la creación de ensamblajes, modificar el ensamblaje completo puede resultar complicado, siendo a veces más eficiente crear uno nuevo que reutilizar uno existente.

En conclusión, el ensamblaje final cuyas dimensiones finales se pueden ver en la figura 3.20, ha demostrado ser completamente funcional tanto para la fabricación de la oruga como para las simulaciones, como se explorará en el Capítulo 4.

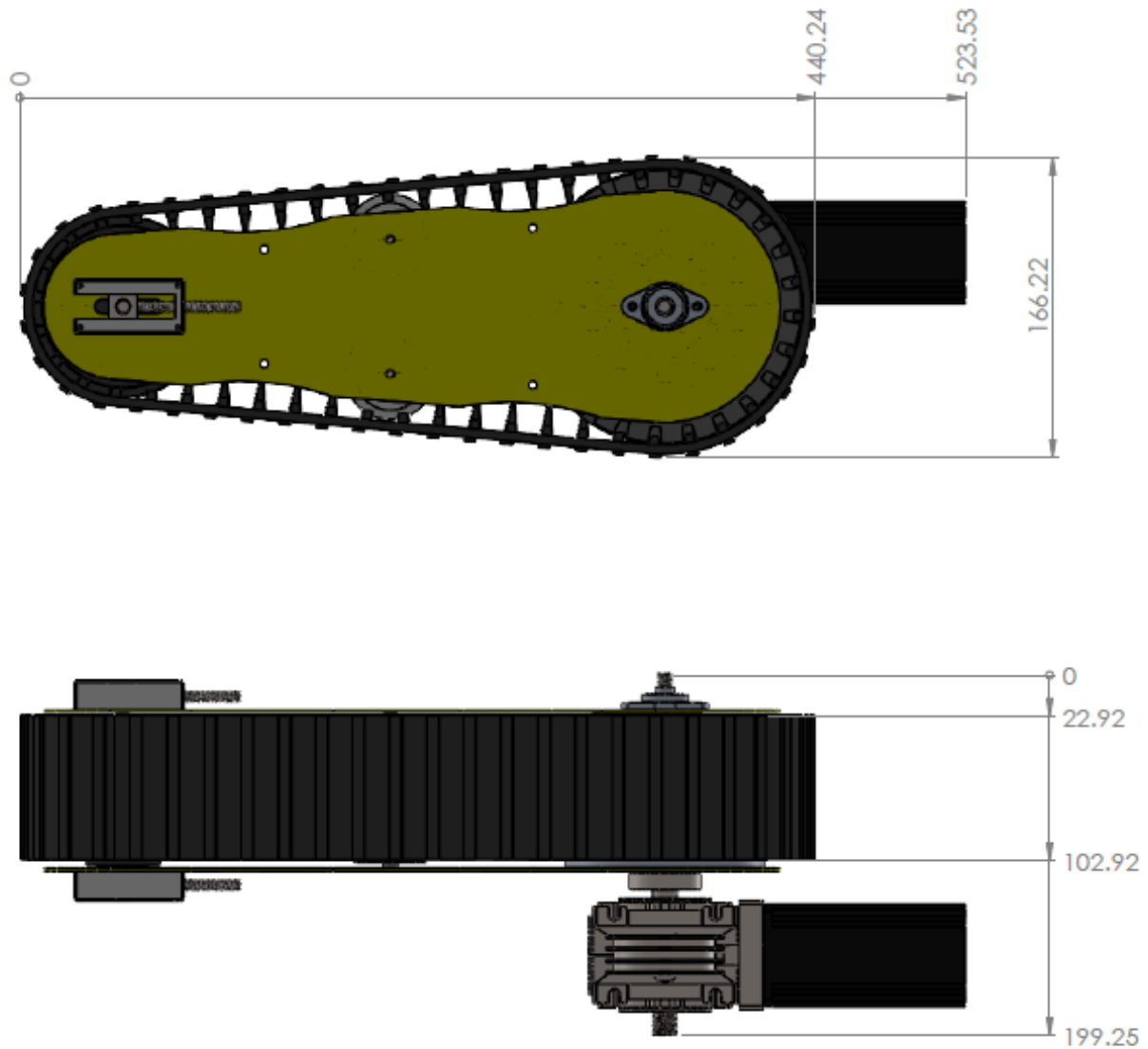


Figura 3.20: Dimensiones Oruga

Capítulo 4

Simulación del sistema mediante Simscape Multibody

4.1 Introducción

En este capítulo, se realizarán diversas simulaciones con el propósito de verificar el correcto funcionamiento del sistema diseñado en Solidworks. Estas simulaciones se llevarán a cabo mediante el empleo del software Simscape Multibody [12] de Simulink, una herramienta integrada en Matlab.

Ésta es una herramienta especializada que facilita el modelado y simulación de sistemas mecánicos compuestos por múltiples cuerpos interconectados, tales como vehículos o robots.

Se han llevado a cabo tres simulaciones, las cuales comparten similitudes significativas, variando únicamente el formato de la oruga. El objetivo principal de estas simulaciones es determinar el modelo que logre una representación más realista y eficiente en términos de tiempos de simulación.

4.1.1 Exportación del modelo de SolidWorks a Multibody

Para exportar el modelo, Solidworks ofrece una opción denominada "Simscape Multibody Link", cuya ruta se muestra en la figura 4.1. Una vez ejecutada esta opción, se genera un archivo XML, así como un archivo STEP para cada componente de la oruga. El archivo XML contiene información que vincula la posición relativa de los diversos archivos STEP, y será interpretado por Matlab para la creación del modelo en Simulink.

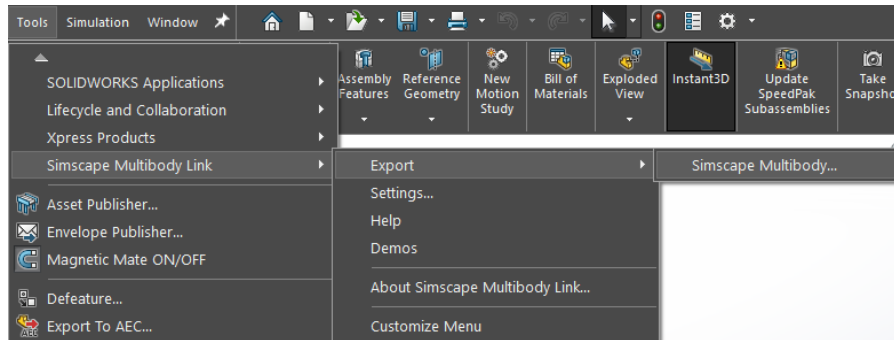


Figura 4.1: Simscape multibody link

Simplemente ejecutando la única línea de código 4.1 Matlab importa el modelo procedente de Solidworks y se genera un archivo de Simulink que ya se puede simular, y que se puede ver este modelo en la figura 4.2. Este archivo sirve como la base de todas las simulaciones, ya que se modificará éste modelo hasta concluir todas las simulaciones.

Código 4.1: Función de Matlab Smimport

```
1 smimport('Ensamblaje_Correa_Real.xml')
```

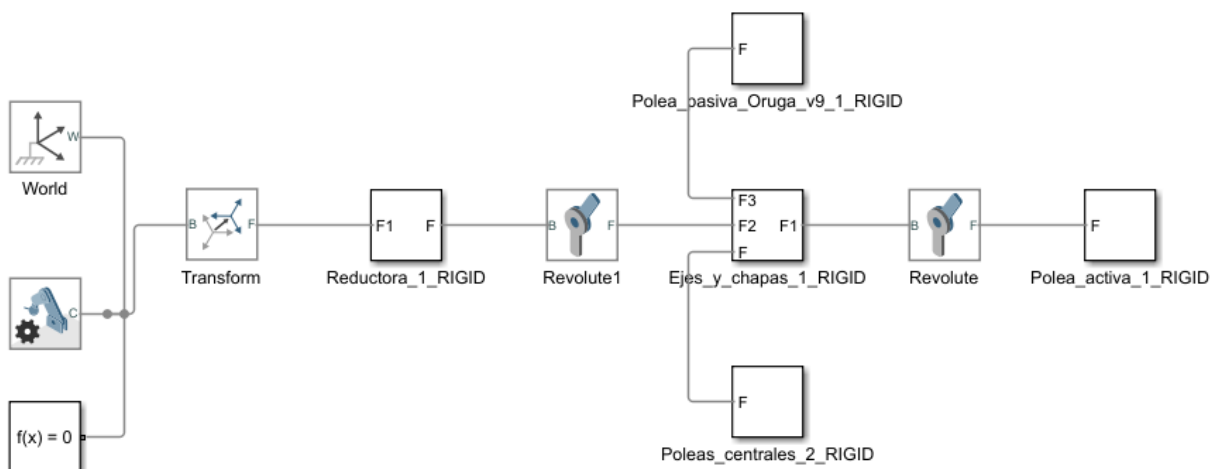


Figura 4.2: Modelo base importado

4.2 Modelo de la correa

En esta sección se va a documentar el modelo de la oruga. La característica principal de este modelo que lo distingue del resto es que la posición del robot se va a calcular mediante modelos matemáticos.

En la figura 4.3 se ve la pantalla principal del modelo de Simulink donde se pueden distinguir varios bloques cuyo funcionamiento se explicará en los siguientes apartados.

A grandes rasgos, se encuentran a la izquierda los parámetros de entrada y salida del sistema, que para obtener una mayor claridad en el modelo se han interconectado con bloques "GoTo"(figura 4.24), en la parte central están los bloques de las orugas provenientes de SolidWorks, y en la parte inferior se encuentran bloques de configuración y detalles para la simulación.

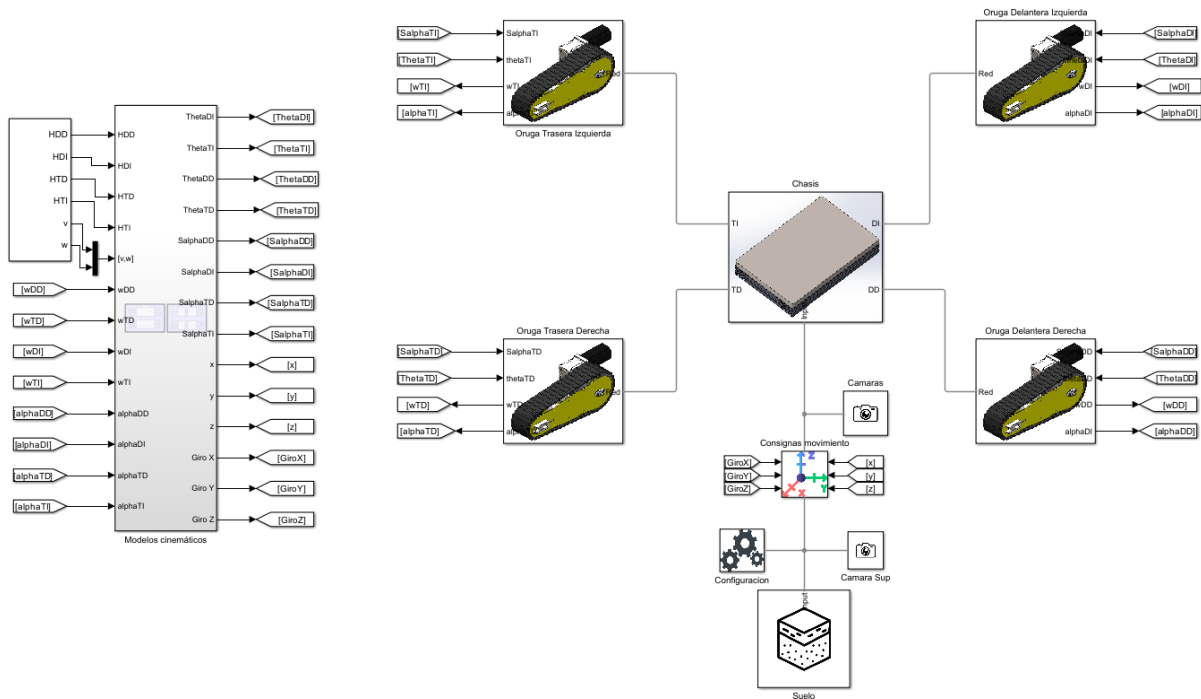


Figura 4.3: Pantalla principal modelo real

From

Receive signals from the Goto block with the specified tag. If the tag is defined as 'scoped' in the Goto block, then a Goto Tag Visibility block must be used to define the visibility of the tag. After 'Update Diagram', the block icon displays the selected tag name (local tags are enclosed in brackets, [], and scoped tag names are enclosed in braces, {}).

Parameters

Goto tag:

Goto source: [ModeloCorrea_Fuerzas/Goto2](#)

Icon display:

(a) Bloque configuración GoTo

[ThetaTD]

(b) Bloque GoTo

Figura 4.4: Bloques para conexión de distintos elementos

4.2.1 Código de Matlab

Aunque en Simulink no es necesario utilizar código, ya que se trata de un lenguaje basado en bloques con una interfaz intuitiva, para ciertas aplicaciones es preciso ejecutar algunas líneas de código. Esto puede incluir la declaración de variables que se introducirán en determinados bloques o la carga de archivos.

El código 4.2 es el único que debe ejecutarse para habilitar la simulación. En su primera sección, se lleva a cabo la carga de algunas señales y nubes de puntos con formato MAT. Las secciones siguientes declaran constantes a utilizarse en los modelos cinemáticos y para la generación del suelo. El último apartado utiliza las variables previas para generar los parámetros necesarios y crear el grid del suelo.

Código 4.2: Función de Matlab

```

1
2  %% Inicializacion
3  load ("H.mat");
4  load ("HE.mat");
5  load ("PointCloud_Cadena.mat");
6  load ("PointCloud_PAActiva.mat");
7  load ("PointCloud_PAActiva_2.mat");
8  load ("pointcloudPPasiva.mat");
9  load ("pointcloudPAActiva.mat");
10 load ("pointcloudPAActiva.mat");
11 load ("Signal1.mat");
12 load ("Signal2.mat");
13
14 %% Constantes
15 L = 0.524;    %m Distancia lateral entre las orugas
16 R = 0.15279/2; %m Radio de la polea activa
17 D = 0.30445; %m Distancia entre centros de las poleas
18
19 %% Parametros del suelo
20 Floor.l = 100; %m
21 Floor.w = 100; %m
22 Floor.h = 0.1; %m
23
24 %% Parametros del grid
25 Grid.clr = [1 1 1]*1;
26 Grid.numSqs = 150;
27 Grid.lineWidth = 0.02;
28 Grid.box_h = (Floor.l - (Grid.lineWidth*(Grid.numSqs+1)))/Grid.numSqs;
29 Grid.box_l = (Floor.l - (Grid.lineWidth*(1+1)))/1;
30 Grid.extr_data = Extr_Data_Mesh(Floor.w, Floor.w, Grid.numSqs, 1, Grid.box_h, Grid.box_l);

```

4.2.2 Modelos cinemáticos

El bloque que contiene los modelos cinemáticos, como se muestra en la figura 4.5, es esencial para calcular las consignas de entrada al sistema. En este caso, también genera las salidas que indican la posición del robot. Este bloque se divide en dos secciones: una encargada de controlar el movimiento de las reductoras y, por ende, la altura del robot, y otra que controla el giro de las orugas y, consecuentemente, el desplazamiento del robot.

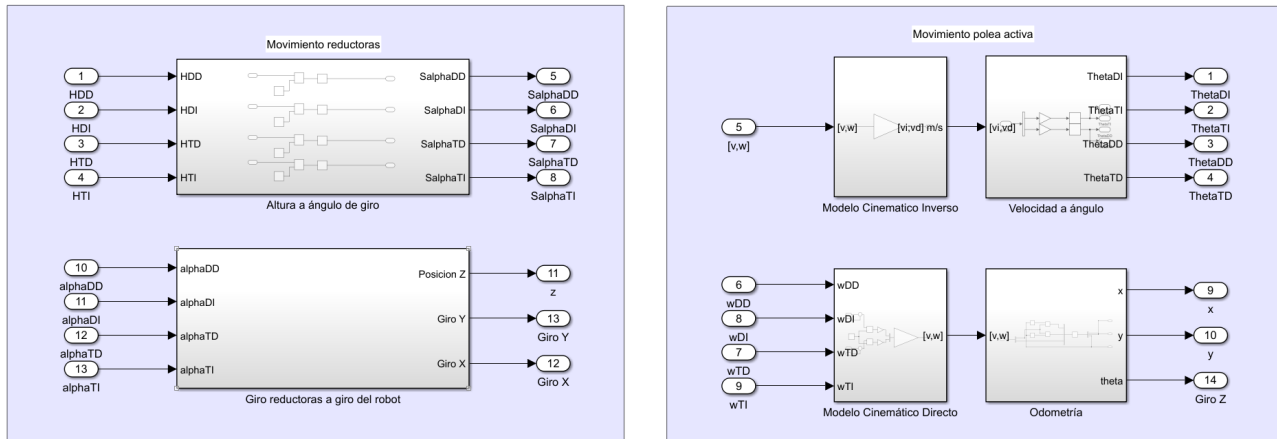


Figura 4.5: Modelos cinemáticos. Modelo real.

Altura a ángulo de giro

Para gestionar la altura del robot, se introducen señales que indican la altura deseada para cada una de las orugas. Por esta razón, es esencial el bloque representado en la figura 4.6, ya que transforma la altura en el ángulo de giro de las reductoras para lograr la altura deseada. La transformación se realiza mediante la ecuación 4.1

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{H}{D}\right) \quad (4.1)$$

Este bloque asegura que la altura del robot sea la deseada mediante la manipulación de los ángulos de giro de las reductoras.

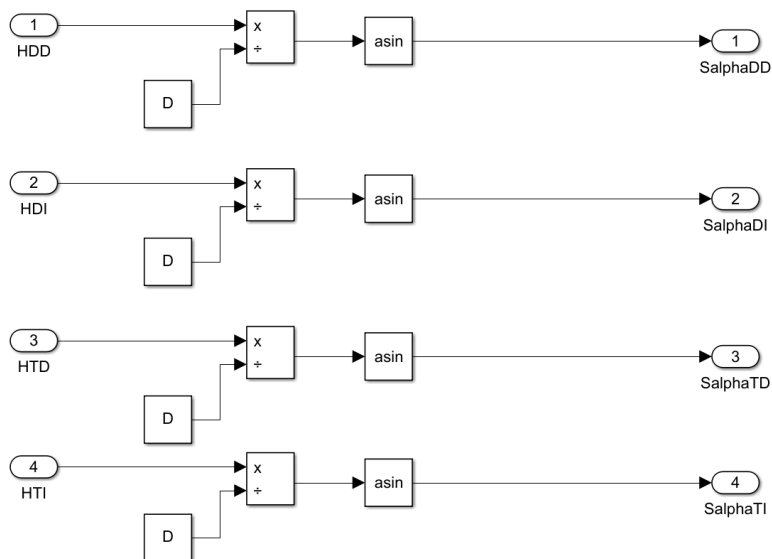


Figura 4.6: Bloque Altura ángulo giro.

Giro reductoras a giro del robot

Una vez se ha logrado controlar el giro de las reductoras, es necesario que el robot se incline en los ejes x e y en función de la inclinación de cada una de las orugas. El bloque representado en la figura 4.7 cumple con esta función según las ecuaciones 4.2, 4.3 y 4.4. Además calcula la posición en el eje z del robot, que equivale a su altura.

$$P_z = \frac{z_{DD} + z_{DI} + z_{TD} + z_{TI}}{4} \quad (4.2)$$

$$Q_x = \frac{z_{izq} - z_{der}}{d_{trans}} \quad (4.3)$$

$$Q_y = \frac{z_{tras} - z_{del}}{d_{long}} \quad (4.4)$$

El bloque se ha reutilizado del TFG titulado "Simulación del robot móvil Rumbler"[17].

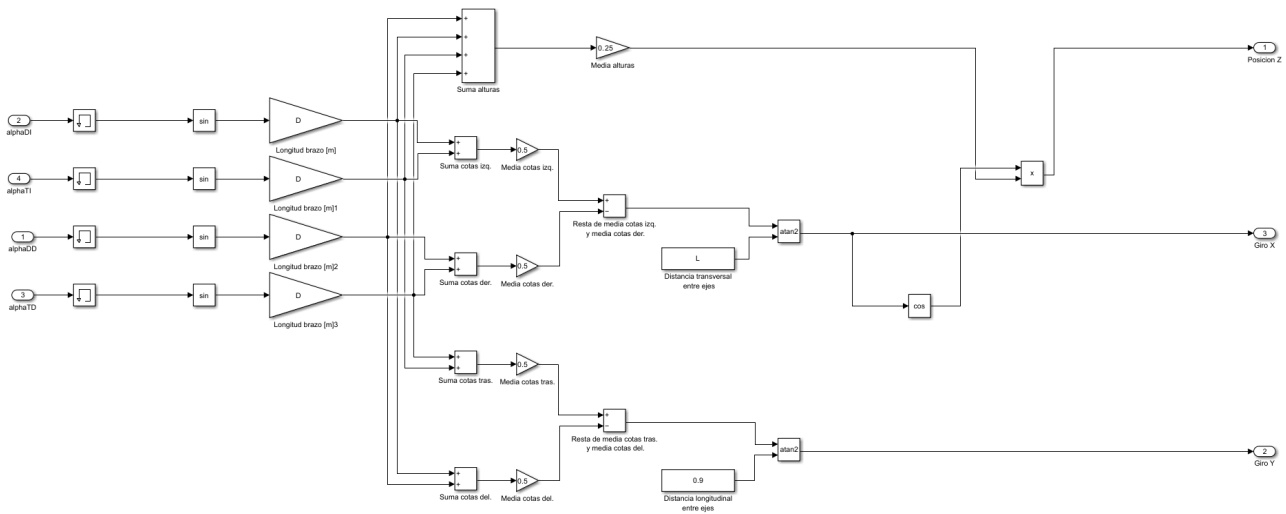


Figura 4.7: Bloque Giro reductoras a giro robot.

Modelo cinemático inverso

El modelo cinemático inverso calcula la velocidad lineal de las orugas de la parte derecha y e izquierda, a partir de la velocidad lineal y angular deseadas del robot.

Este bloque, al igual que todos los bloques que se presentarán a continuación, se ha reutilizado del robot Piero, trabajado en la asignatura Laboratorio de Robótica.

Aplica las ecuaciones 4.5 y 4.6.

$$v_i = v - \frac{wL}{2} \quad (4.5)$$

$$v_d = v + \frac{wL}{2} \quad (4.6)$$

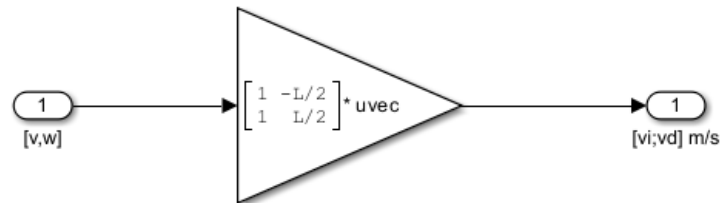


Figura 4.8: Bloque "Modelo cinemáticos inverso".

Velocidad a ángulo

Este bloque se encarga de transformar la velocidad lineal de las orugas, calculada mediante el modelo cinemático inverso, en el ángulo de giro de los motores de las orugas. El modelo se presenta en la figura 4.9 e implementa las ecuaciones 4.7 y 4.8.

$$\theta_D = \int \frac{v_D}{R} dt \quad (4.7)$$

$$\theta_I = \int \frac{v_I}{R} dt \quad (4.8)$$

Este bloque asegura que las orugas se muevan con la velocidad lineal deseada al ajustar el ángulo de giro de los motores correspondientes.

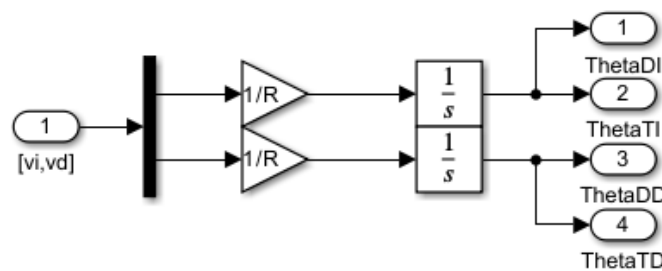


Figura 4.9: Bloque Velocidad a ángulo de giro

Modelo cinemático directo

Este bloque realiza la función inversa al modelo cinemático inverso, calculando la velocidad lineal y angular a partir de las velocidades angulares obtenidas de las cuatro orugas. Para ello, utiliza las ecuaciones 4.9 y 4.10, como se ilustra en la figura 4.10.

$$v = \frac{R(w_d + w_i)}{2} \quad (4.9)$$

$$w = \frac{R(w_d + w_i)}{L} \quad (4.10)$$

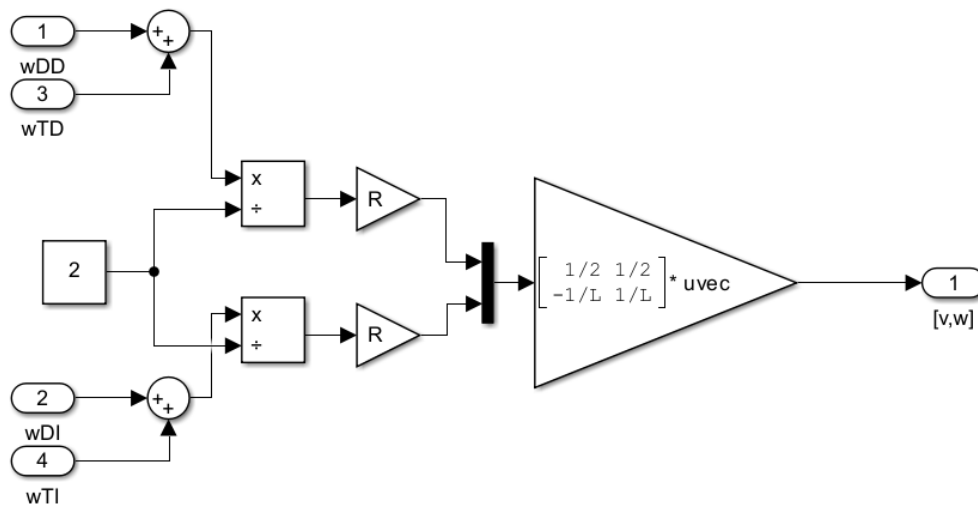


Figura 4.10: Bloque Modelo cinemático directo

Odometría

Este último bloque de los modelos cinemáticos es responsable de calcular, mediante las ecuaciones 4.11, 4.12 y 4.13, la posición del robot en los ejes x e y. Además, determina el ángulo de giro en el plano xy, proporcionando así todos los parámetros necesarios para controlar la posición del robot.

$$x = \int v \cos(w) dt \quad (4.11)$$

$$y = \int v \sen(w) dt \quad (4.12)$$

$$\theta = \int w dt \quad (4.13)$$

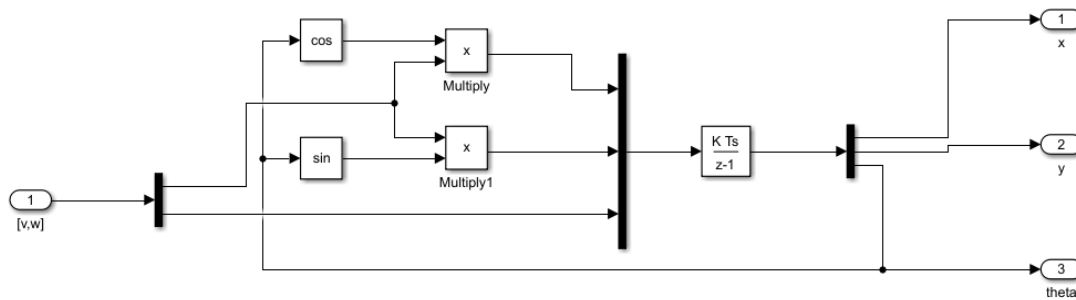


Figura 4.11: Bloque Odometría

4.2.3 Suelo

El suelo se fundamenta en el modelo de Matlab Vehicle Modeling with Simscape Multibody [18], y consta de tres bloques. Uno de ellos es un "Brick Solid," que representa un sólido con forma cuadrada y poco espesor, simulando el suelo. Los otros dos bloques son "Extruded Solid," juntos conforman el grid del suelo para facilitar la identificación del movimiento del robot. Estos bloques son aquellos que hacen uso de las variables declaradas en el Código 4.2.

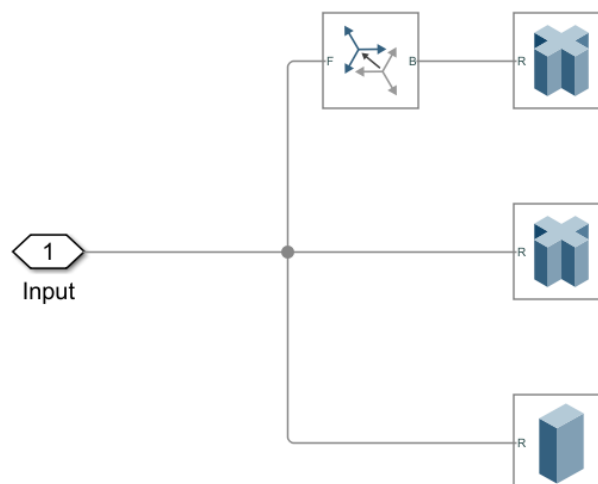


Figura 4.12: Bloque suelo. Modelo real.

4.2.4 Cámaras

El bloque de cámaras se ha empleado para realizar un seguimiento de la trayectoria del robot desde un punto fijo ubicado alrededor del vehículo, eliminando así la necesidad de mover la cámara manualmente en el entorno de simulación de Matlab.

Para configurar adecuadamente las cámaras, es esencial tener un punto de referencia asignado al punto hacia el cual mirará la cámara, ubicado en el origen de coordenadas del

chasis. También se requiere un punto externo que simulará la posición de la cámara. Para este propósito, se han configurado dos de estos puntos, uno en una esquina del robot y otro en la parte lateral, como se muestra en la figura 4.13. Estos puntos comparten la dirección hacia la cual apuntan todas las cámaras.

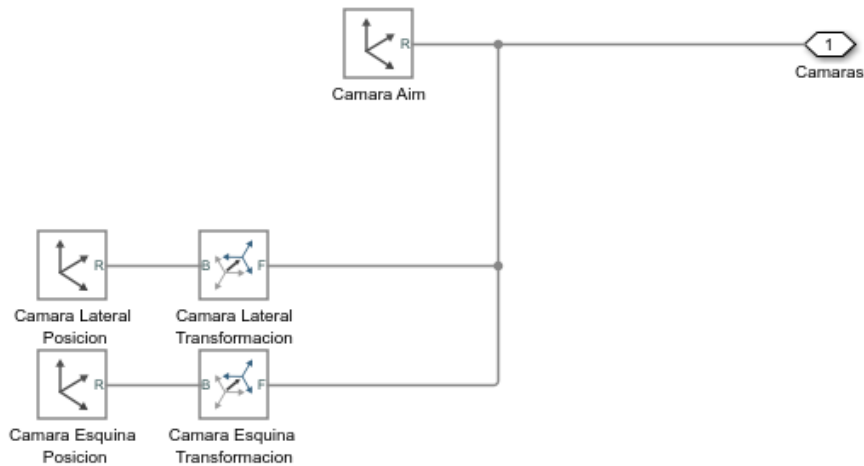


Figura 4.13: Bloque cámaras.

En la figura 4.14, se presenta el mismo sistema descrito en el párrafo anterior para una nueva cámara. Este bloque se ha separado del resto porque se deseaba que esta cámara tuviera una posición superior estática que permitiera una vista global de la trayectoria del robot.

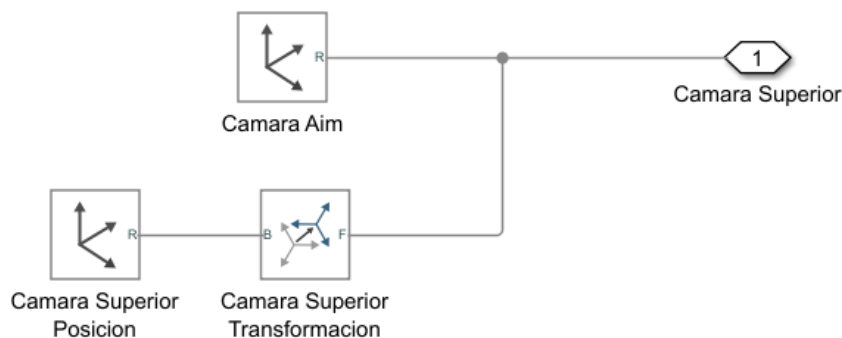


Figura 4.14: Bloque cámara superior.

4.2.5 Consignas de movimiento

Este bloque es responsable de controlar la posición del robot en el entorno de simulación. Para ello, incorpora una articulación del tipo "Bushing Joint" que facilita el movimiento del robot en los tres ejes cartesianos y su giro correspondiente. Sus entradas incluyen la

posición y los giros en los tres ejes, todos provenientes del bloque de Modelos Cinemáticos. Se puede observar este bloque en la figura 4.15.

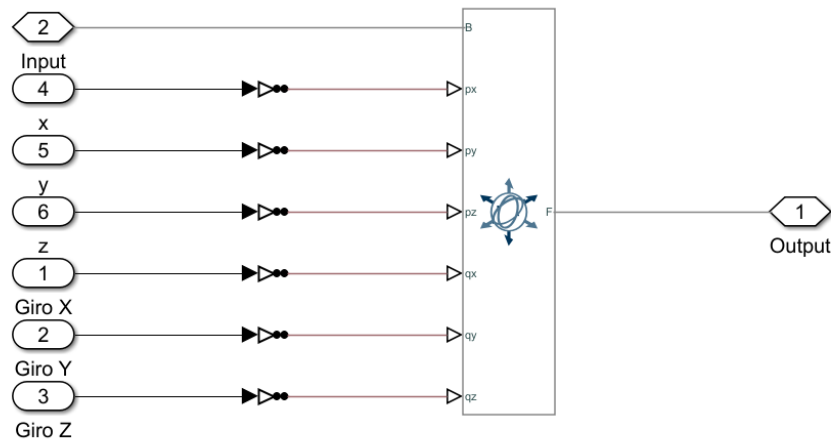


Figura 4.15: Bloque consignas de movimiento

4.2.6 Chasis

El bloque del chasis, representado en la figura 4.16, consiste en un sólido que representa el modelo 3D del chasis. Además, cuenta con cuatro transformaciones a las que se conectarán las cuatro orugas. Estas transformaciones tienen como objetivo posicionar las orugas en cada una de las esquinas en sus ubicaciones adecuadas.

Es importante destacar que este bloque fue creado manualmente, y se incluyeron los modelos de las orugas exportados de Solidworks de una en una. Aunque hubiera sido posible exportar directamente el modelo con las cuatro orugas, esto habría generado un modelo más complejo. Debido a la simplicidad de crear este bloque, se optó por este enfoque.

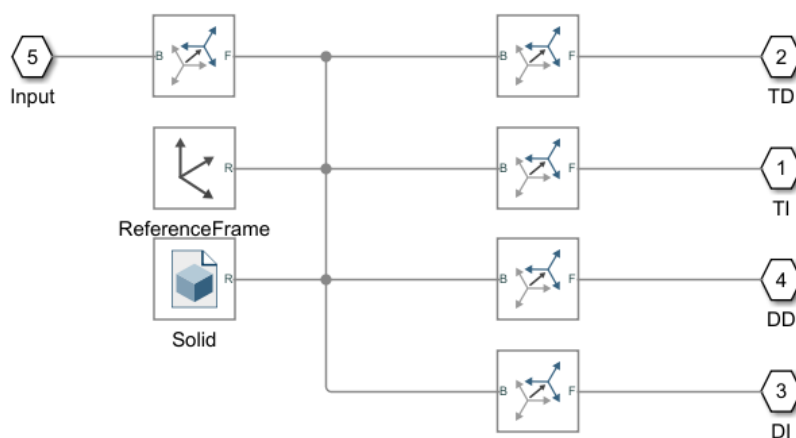


Figura 4.16: Bloque chasis

4.2.7 Orugas

El bloque de la oruga, mostrado en la figura 4.17, engloba todos los sólidos de las orugas, junto con las articulaciones necesarias para facilitar su movimiento. En este bloque, entran las consignas de entrada procedentes de los modelos cinemáticos y salen las consignas que indican el estado actual de las articulaciones. Estas últimas se procesarán de nuevo en los modelos cinemáticos. Se observa también en la figura cómo se han agregado inversores en las entradas y salidas de las articulaciones, específicos para cada oruga. Estos inversores corrigen el sentido de giro de los motores, que se ve alterado al girar las orugas para posicionarlas en las esquinas en sus ubicaciones adecuadas.

A la entrada del sistema se encuentra la reductora, seguida por el conjunto de ejes y chapas. En este conjunto, se incluye una articulación de giro que permite el movimiento entre ambos ensamblajes. Tras el conjunto de ejes y chapas están la polea pasiva y la polea activa, cada una con su correspondiente articulación que también posibilitará el movimiento de estas partes de la oruga.

Este sistema se importó de Solidworks y se organizó y modificó para ser más visualmente intuitivo. Además, se realizaron algunas adaptaciones en ciertos elementos para garantizar la correcta simulación del sistema.

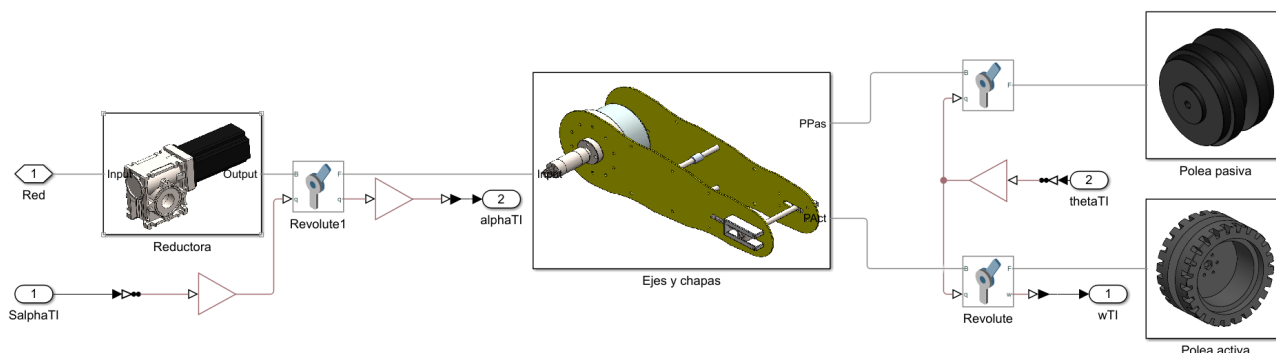


Figura 4.17: Bloque oruga. Modelo Real.

Reductora

El subsistema de la reductora, representado en la figura 4.18, se encuentra en su estado original al ser importado. Contiene los tres elementos que componen el ensamblaje, unidos a una referencia común. Además, cuenta con transformaciones intermedias que indican la posición exacta de cada uno de los componentes.

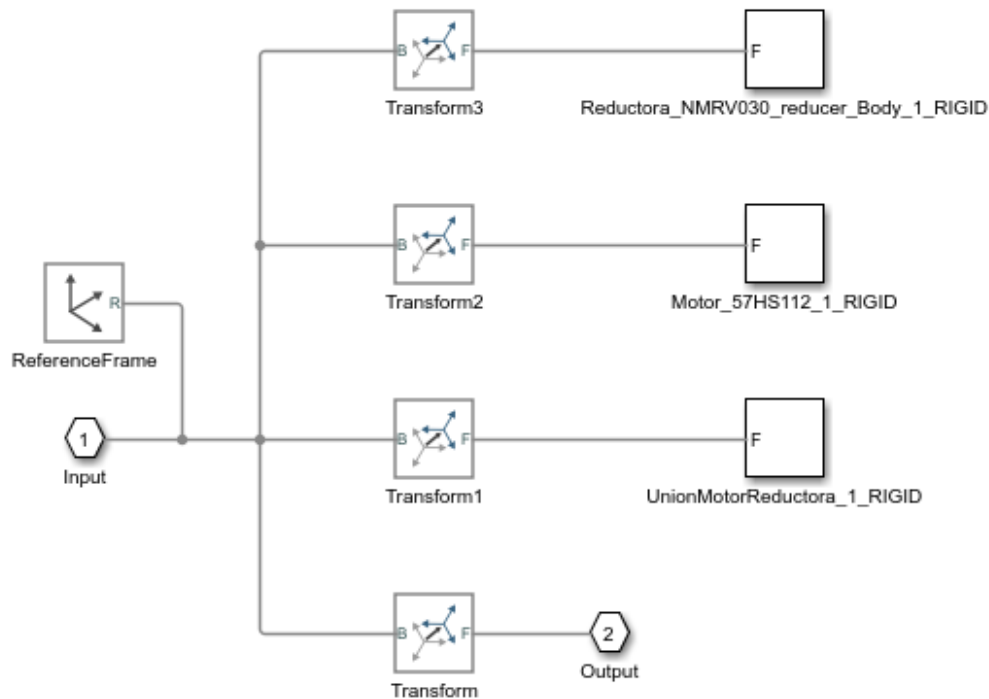


Figura 4.18: Bloque reductor.

Ejes y chapas

Este bloque engloba la mayoría de los elementos del ensamblaje, lo cual explica su considerable tamaño en términos de espacio, como se observa en la figura 4.19. A pesar de su extensión visual, no se trata de un sistema complicado, ya que simplemente incluye cada uno de los componentes individuales en este gran ensamblaje. Estos elementos están dispuestos tras un bloque de transformación que los sitúa en sus posiciones respectivas. Este diseño demuestra que estos elementos giran solidariamente, ya que no existe ninguna articulación entre ellos.

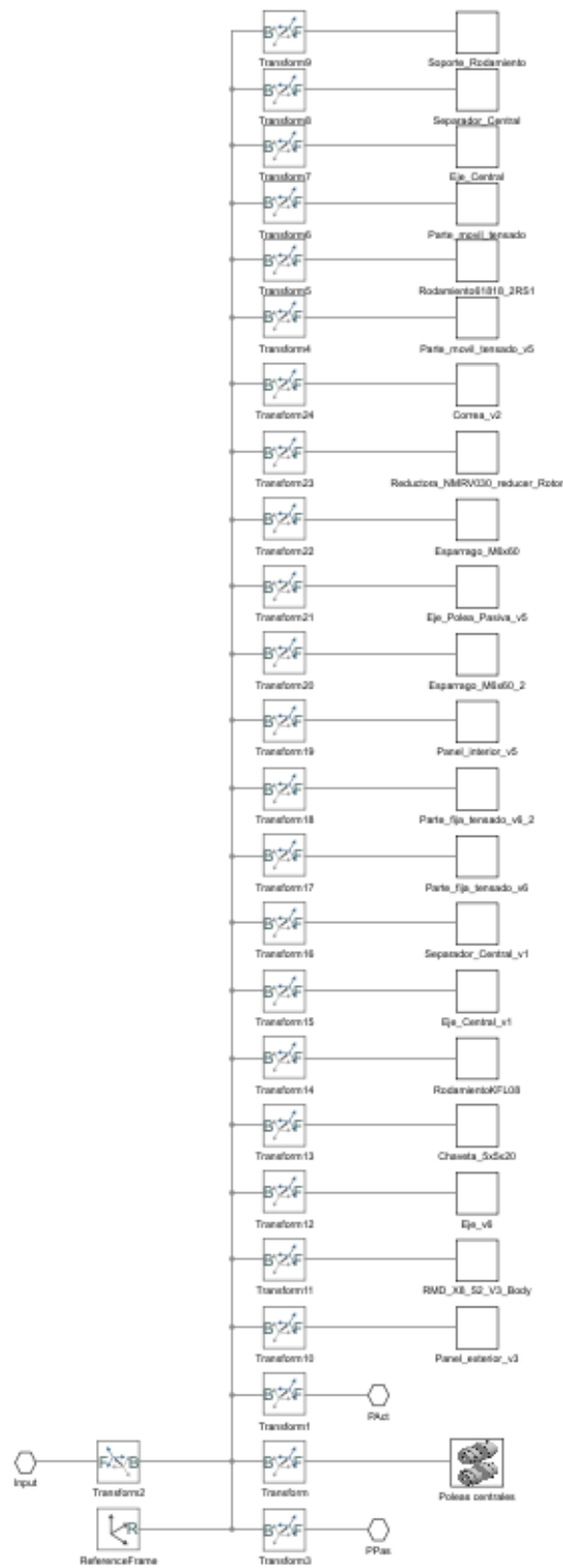


Figura 4.19: Bloque ejes y chapas

Para obtener una visión completa del bloque, es apropiado referirse a la figura 4.20, donde se muestra el contenido de cada uno de los bloques que albergan los componentes. Como se aprecia, cada bloque contiene únicamente el sólido del componente en cuestión, junto con un bloque de referencia.

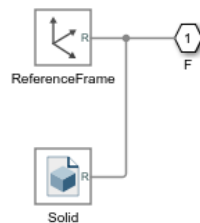


Figura 4.20: Ejemplo de bloque de componente

Polea activa

El siguiente bloque es el de la polea activa, en el cual se encuentran los sólidos correspondientes a este ensamblaje con sus transformaciones respectivas. La única entrada que se aprecia en la figura 4.21 es la que va conectada a la articulación de revolución, permitiendo así el movimiento de todo el conjunto.

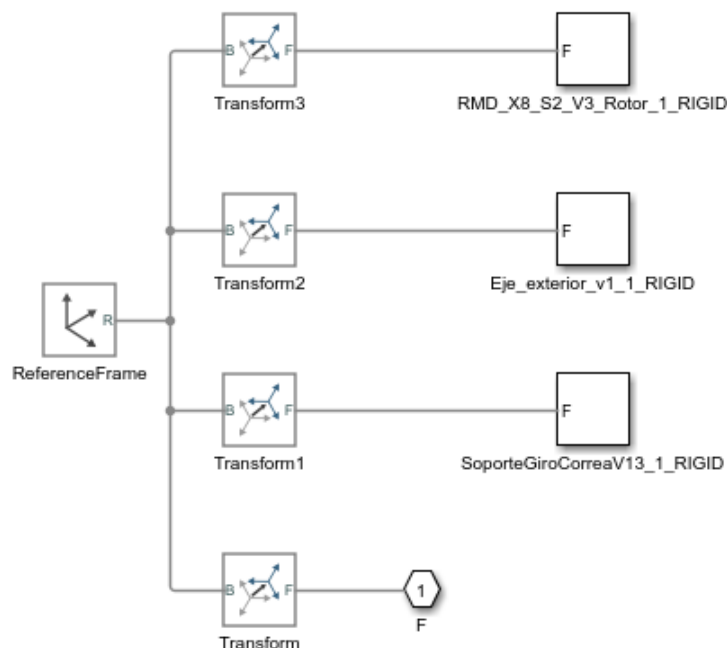


Figura 4.21: Bloque polea activa. Modelo real

4.2.8 Polea pasiva

En el caso de la polea pasiva no es ningún ensamblaje, si no que se trata como un sólo componente con características idénticas a lo comentado anteriormente. Se puede ver el esquemático en la figura 4.22

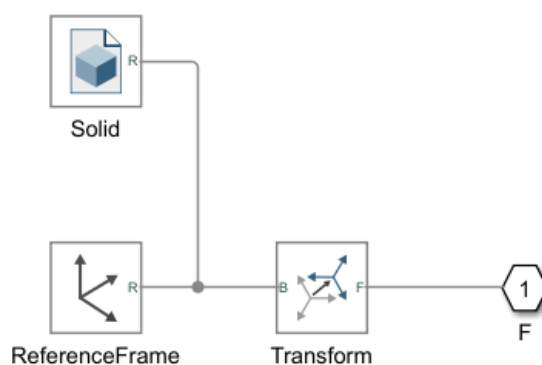


Figura 4.22: Bloque polea pasiva. Modelo real.

4.3 Modelo de eslabones

El nuevo modelo mantiene la esencia del anterior, reutilizando la mayoría de los bloques, aunque se incorporan cambios sustanciales para la simulación del modelo. Los cambios principales se centran en la integración de bloques "Spatial Contact Force" (figura 4.37) que simulan una fuerza de contacto entre los distintos sólidos del ensamblaje. Principalmente, estas fuerzas de contacto se implementan entre el suelo y la correa, así como entre las poleas y la correa.

Para utilizar las fuerzas de contacto, fue necesario diseñar una nueva correa, elemento principal del modelo, que está compuesta por múltiples eslabones que simulan una correa clásica de un sistema con orugas. El único cambio visible en la simulación radica en esta nueva correa.

En la figura 4.23, se muestra la pantalla principal del modelo, que guarda una gran similitud con la del modelo anterior. Los cambios notables incluyen el uso de nuevos bloques para conectar distintos bloques llamados Connection Label, cuya configuración se presenta en la figura 4.24b. Se han utilizado estos bloques en lugar de los "GoTo" empleados anteriormente, ya que son capaces de conectar bloques de la librería Simscape, cumpliendo una función idéntica. También se observa una considerable reducción en el número de salidas del bloque de los modelos cinemáticos. Esto se debe a que, al considerar las fuerzas de contacto, ya no es necesario calcular la posición y orientación del robot, ya que Matlab se encargará de calcularlas automáticamente.

Dado que hay similitudes con el modelo anterior, este apartado se limitará a comentar las modificaciones realizadas respecto a este.

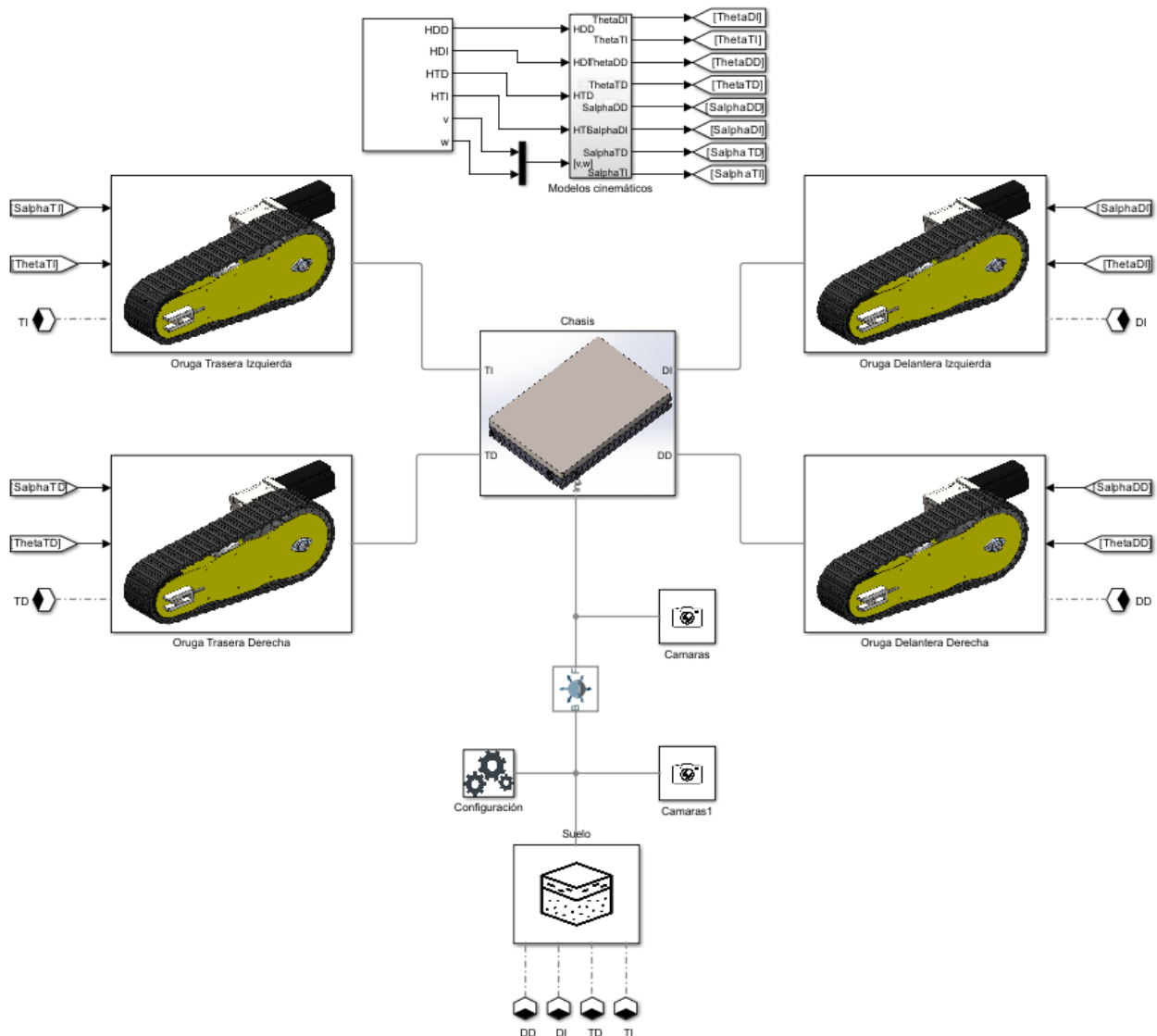
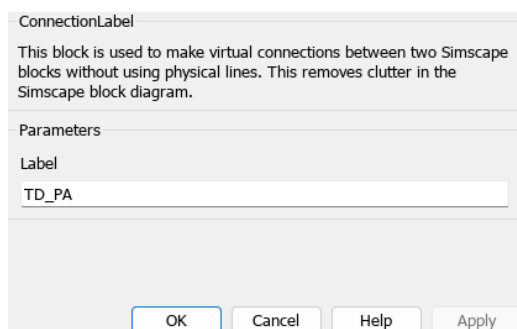


Figura 4.23: Pantalla principal modelo eslabones



(a) Bloque configuración conection label



(b) Bloque conection label

Figura 4.24: Bloques para conexión de distintos elementos Simscape

4.3.1 Modelos cinemáticos

Los modelos cinemáticos conservan los bloques de Modelo Cinemático Inverso, Velocidad a Ángulo, y Altura a Ángulo de Giro. Estos bloques permiten transformar los parámetros de entrada en formatos adecuados para ser interpretados por los bloques de articulaciones. En consecuencia, se convierte la altura de las orugas en el ángulo de giro de las reductoras y las velocidades angulares y lineales en ángulo de giro de los motores de las orugas.

Con esto, se puede controlar la velocidad de giro de los motores, y se eliminan los demás bloques que se encargaban de calcular la posición y orientación del robot.

La figura 4.25 muestra cómo quedan los modelos cinemáticos, siendo los bloques idénticos a los ya explicados en el apartado anterior.

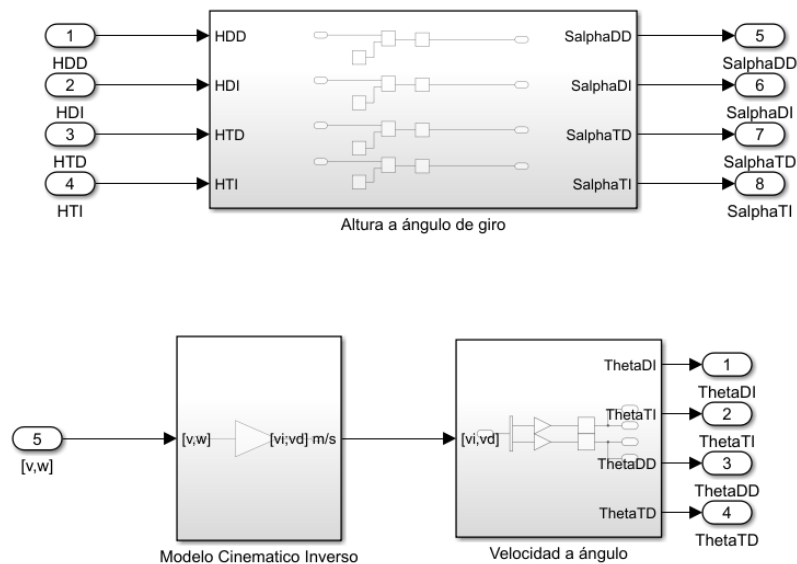


Figura 4.25: Modelos cinemáticos. Modelo eslabones

4.3.2 Articulación 6-DOF Joint

Otro de los cambios significativos es la sustitución del bloque de consignas de movimiento, encargado de controlar en todo momento la posición y orientación del robot, por una articulación "6-DOF Joint" (figura 4.26) o articulación de seis grados de libertad. Esto permitirá al robot moverse libremente una vez iniciada la simulación.



Figura 4.26: Bloque 6-DOF Joint

4.3.3 Suelo

En cuanto al suelo, se ha activado la opción de exportar geometría (figura 4.28) en la configuración del bloque del sólido que constituye el suelo. De esta manera, se han obtenido cuatro salidas que se conectarán con las cuatro orugas, estableciendo así fuerzas de contacto que evitarán que las orugas atraviesen el sólido. En lugar de ello, se detendrán al entrar en contacto con él. Esta modificación se aprecia en la figura 4.27.

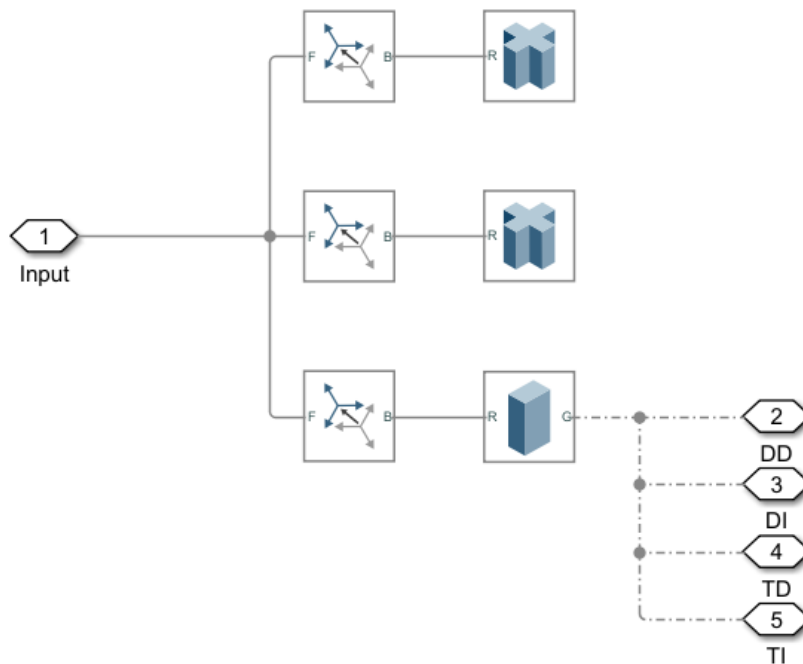


Figura 4.27: Bloque suelo. Modelo elaborados

Description

Represents a solid combining a geometry, an inertia and mass, a graphics component, and rigidly attached frames into a single unit. A solid is the common building block of rigid bodies. The Solid block obtains the inertia from the geometry and density, from the geometry and mass, or from an inertia tensor that you specify.

In the expandable nodes under Properties, select the types of geometry, inertia, graphic features, and frames that you want and their parameterizations.

Port R is a frame port that represents a reference frame associated with the geometry. Each additional created frame generates another frame port.

Properties

Geometry			
Dimensions	[Floor.l , Floor.w , Flo...	m	Compile-time
Export			
Entire Geometry	☒		
Inertia			
Graphic			
Frames			

Figura 4.28: Opción export geometry

4.3.4 Orugas

En el bloque de la oruga (figura 4.29), se observan cambios significativos con respecto al modelo real. El primer cambio se refiere a las articulaciones de revolución, donde las salidas de sensado de la posición han desaparecido, quedando únicamente la entrada. El siguiente cambio implica que las poleas centrales se han sacado del conjunto de ejes y chapas en el que se encontraban anteriormente y se han colocado en la pantalla principal de este bloque. El último cambio es la inclusión del modelo de la correa formada por los eslabones, seguido de un bloque de fuerzas de contacto.

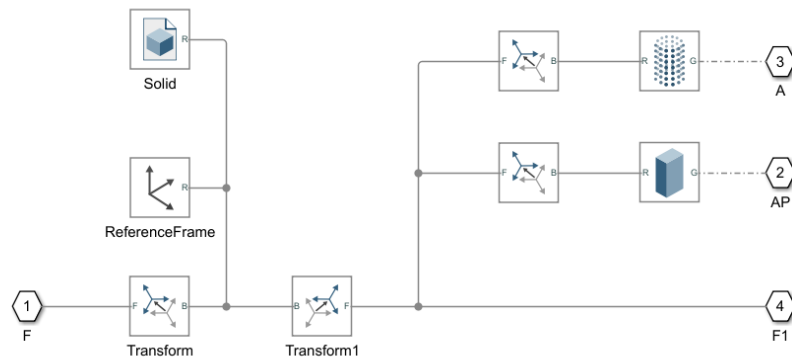


Figura 4.31: Bloque eslabón

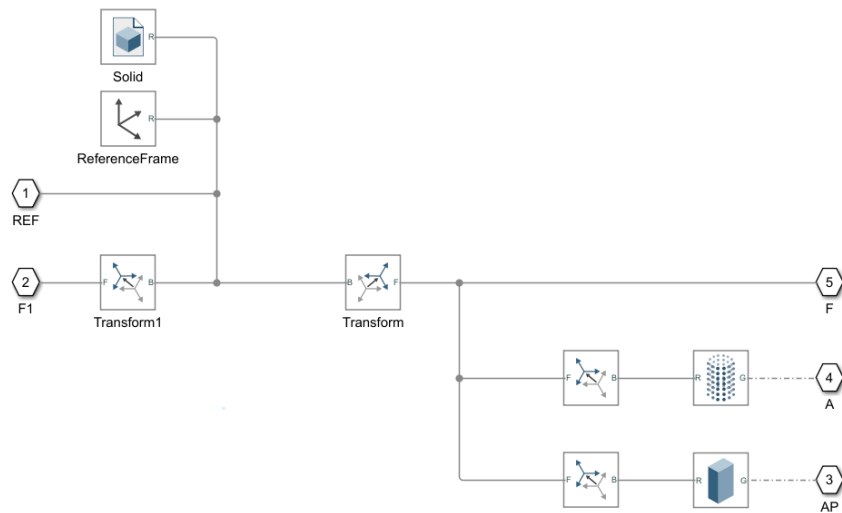
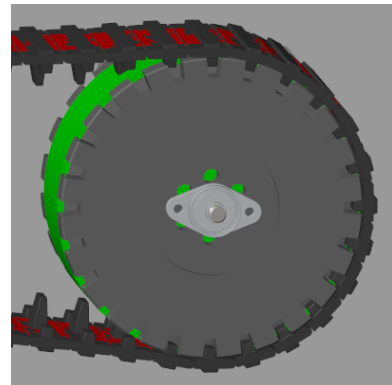
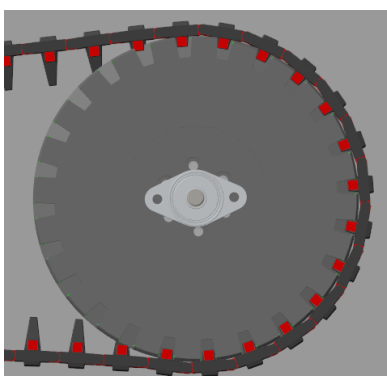


Figura 4.32: Bloque eslabón 1



(a) Fuerzas de contacto entre la polea activa y el piñón **(b)** Fuerzas de contacto entre la polea activa y la correa

Figura 4.33: Fuerzas de contacto entre los eslabones y la polea activa

En la figura 4.34, se ha realizado un zoom en el bloque de la figura 4.30 para permitir una mejor apreciación del modelo. Un detalle a destacar es que los eslabones tienen la salida de las fuerzas de contacto de forma alternada, es decir, solo la mitad de los eslabones cuentan con esta característica añadida. Inicialmente, todos tenían estas salidas, pero finalmente se decidió reducir a la mitad esta configuración, ya que sobrecargaba el modelo y ralentizaba excesivamente la simulación. Esta medida se tomó para optimizar el modelo.

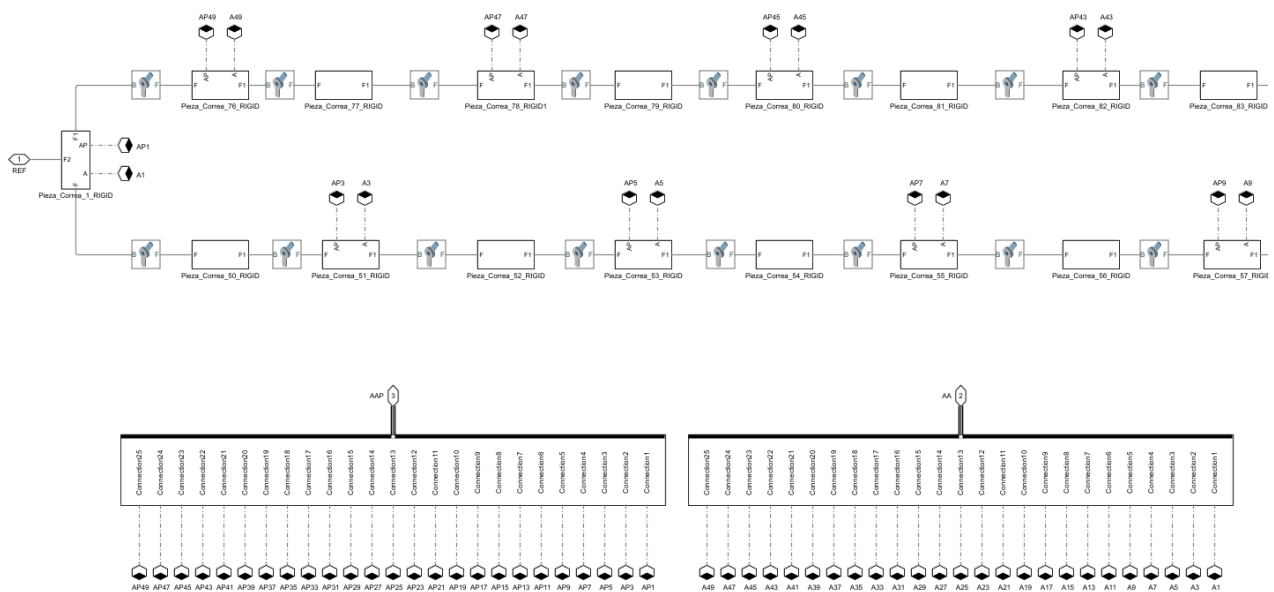


Figura 4.34: Zoom bloque cadena

Bloques de fuerzas de contacto

Este bloque agrupa todas las fuerzas de contacto del sistema. Como se aprecia en la figura 4.35 hay seis subbloques dentro de cada cual se agrupa un conjunto de fuerzas de contacto, que ordenados desde arriba hacia abajo se refieren a las fuerzas de contacto entre: piñones y polea activa, eslabones y polea activa, eslabones y polea pasiva, eslabones y polea central superior, eslabones y polea central inferior, eslabones y suelo.

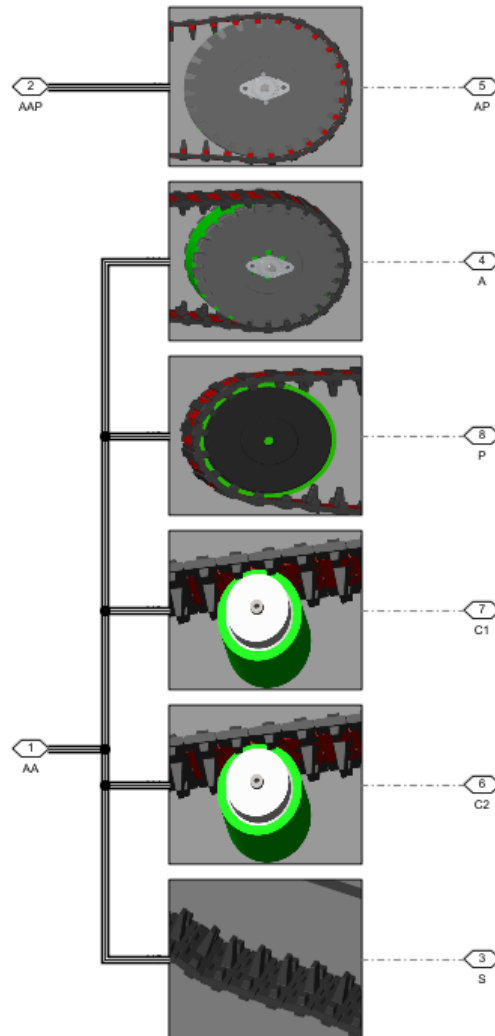


Figura 4.35: Bloque fuerzas de contacto

A continuación, en la figura 4.36, se puede apreciar el contenido de cada uno de los subbloques de fuerzas de contacto mencionados anteriormente. Simplemente, se tiene un bloque de Simscape Bus (cuya configuración se ve en la figura 4.39) que separa las fuerzas de contacto procedentes de cada uno de los eslabones. Una vez separadas, a cada una se le conecta un extremo del bloque Spatial Contact Force (figura 4.35, configuración 4.38), cuya función es establecer las fuerzas de contacto entre los elementos conectados a este bloque.

Estos bloques son el corazón de este sistema, ya que sin ellos no se podría haber ideado el sistema. La idea se obtuvo gracias al modelo Tracked Vehicles Simscape de Matlab[19].

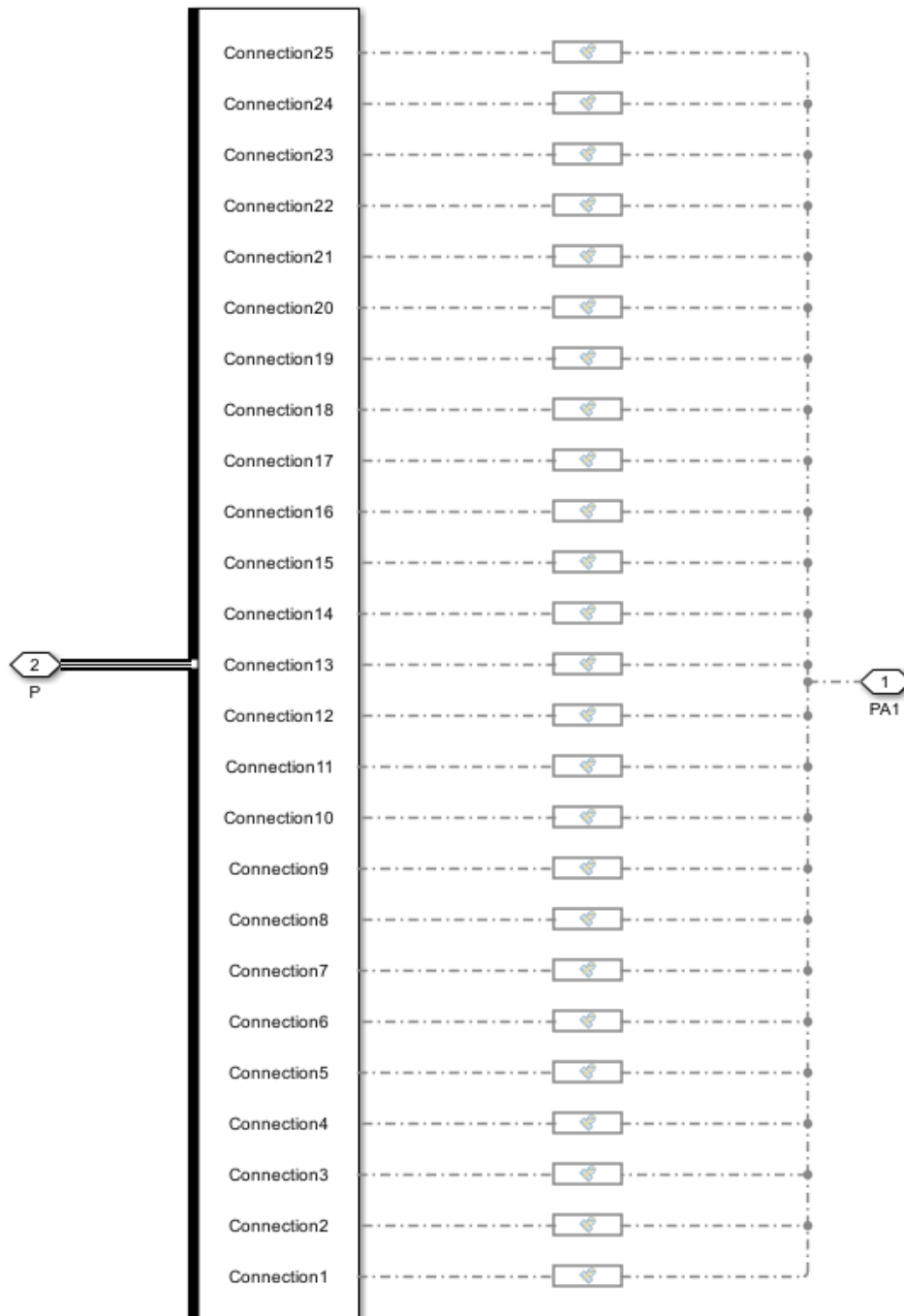


Figura 4.36: Subbloque fuerzas de contacto

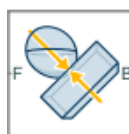


Figura 4.37: Bloque spatial contact force

Spatial Contact Force
☒ Auto Apply ?

Settings	Description
NAME	VALUE
Normal Force	
Method	Smooth Spring-Damper ▼
Stiffness	1e6 N/m ▼ Compile-time ▼
Damping	1e3 N/(m/s) ▼ Compile-time ▼
Transition Region Width	1e-4 m ▼ Compile-time ▼
Frictional Force	
Method	Smooth Stick-Slip ▼
Coefficient of Static Friction	0.5 ▼ Compile-time ▼
Coefficient of Dynamic Friction	0.2 ▼ Compile-time ▼
Critical Velocity	1e-3 m/s ▼ Compile-time ▼
Sensing	
Zero-Crossings	

Figura 4.38: Configuración spatial contact force

SimscapeBus

This block bundles connections into a Simscape Bus line. You can also use it to access one or more connections from an existing Simscape Bus line. Use automatic port creation to add new connections to the block.

Connection type:

Inherit: auto ▼

>>

Hierarchy Strings

Connection25
Connection24
Connection23
Connection22
Connection21
Connection20
Connection19

Help

Apply

Figura 4.39: Bloque simscapebus

Polea activa

El bloque de la polea activa solo ha sido modificado para añadir dos entradas visibles a la izquierda en la figura 4.40, las cuales están conectadas a los bloques de nubes de puntos y cilindro sólido (figura 4.41). El objetivo es poder conectar estos bloques a uno de los extremos de los bloques de fuerzas de contacto descritos en el apartado anterior y así cerrar el circuito de fuerzas de contacto entre los eslabones y la polea activa.

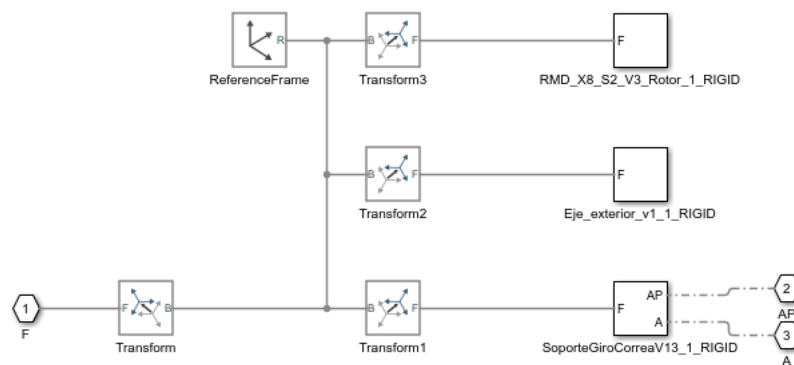


Figura 4.40: Bloque polea activa

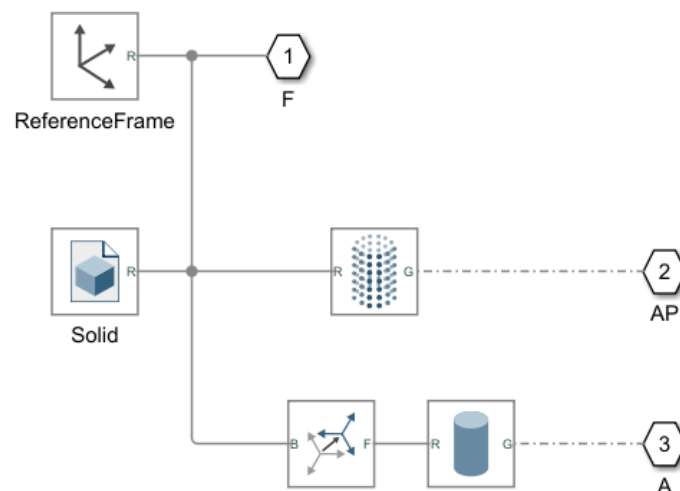


Figura 4.41: Bloque polea activa 1

Poleas centrales

De igual modo se ha incluido un cilindro sólido en cada una de las poleas centrales para establecer las fuerzas de contacto entre ellas y los eslabones. En las figuras 4.42 y 4.43 se ve como se ha realizado esta conexión.

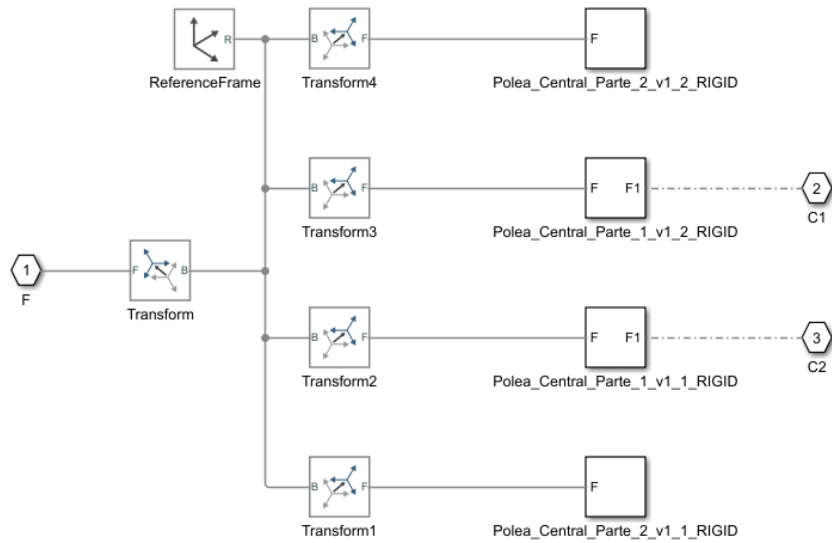


Figura 4.42: Bloque poleas centrales

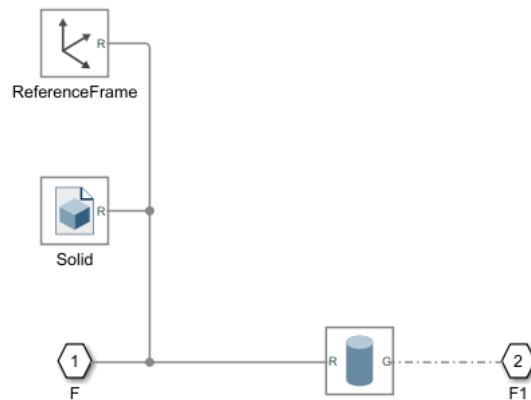


Figura 4.43: Bloque polea central

Polea pasiva

De nuevo se repite el mismo sistema que con el resto de las poleas y se añade el cilindro para que haga de fuerzas de contacto entre eslabones y polea pasiva en este caso. La figura 4.44 muestra la modificación realizada al bloque de la polea pasiva.

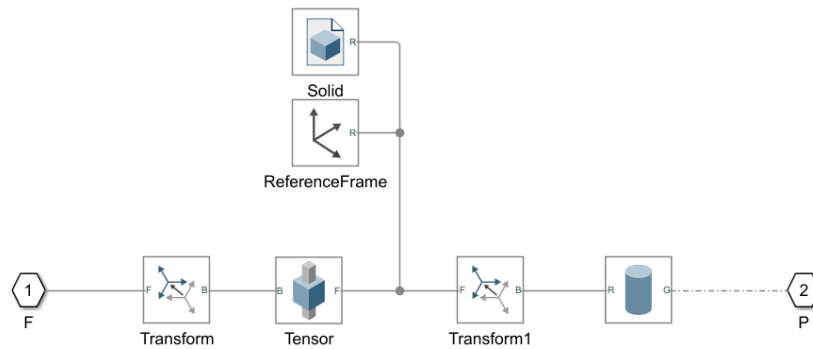


Figura 4.44: Bloque polea pasiva

En la figura 4.45 se tiene la configuración genérica de cada bloque cylindrical solid comentado en este apartado. Destacar que se deshabilitan los gráficos para que no altere visualmente la estética del robot, y se marca la opción de export body para que se habilite el puerto G que permite conectarlo con los bloques de fuerzas de contacto.

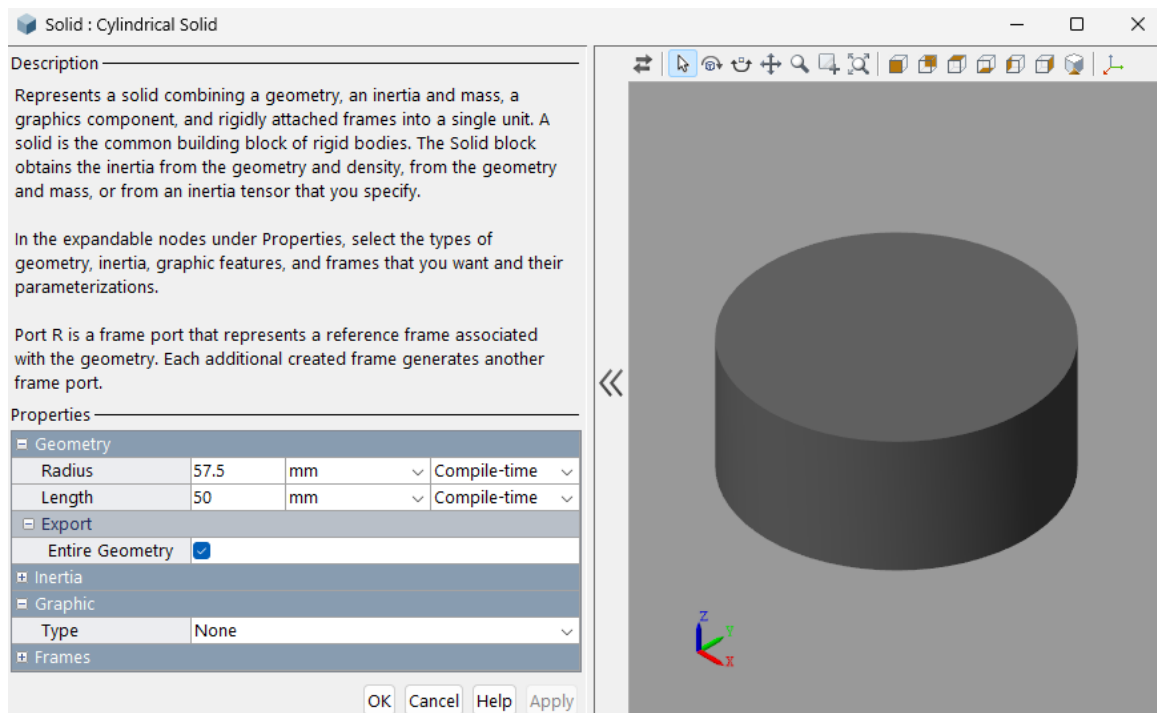


Figura 4.45: Bloque cylindrical solid polea pasiva

4.4 Modelo de la correa seccionada

Como se comentará en el siguiente apartado, la simulación del modelo de eslabones resulta ser demasiado lenta, y como solución a ese problema surge este nuevo modelo que es una mezcla entre los modelos real y el modelo de eslabones.

La principal característica del modelo es que la correa real se ha dividido en tres partes: una cilíndrica que recubre la polea activa, otra que hace lo propio con la polea pasiva, y otra que une los elementos anteriores, quedando visualmente bastante parecida al modelo real, pero con la peculiaridad de que se podrá visualizar en las simulaciones ambas poleas girando.

La parte absorbida del modelo de los eslabones es que se usan fuerzas de contacto, pero en este caso, tan solo están presentes entre ambas poleas y el suelo, simplificando así la simulación.

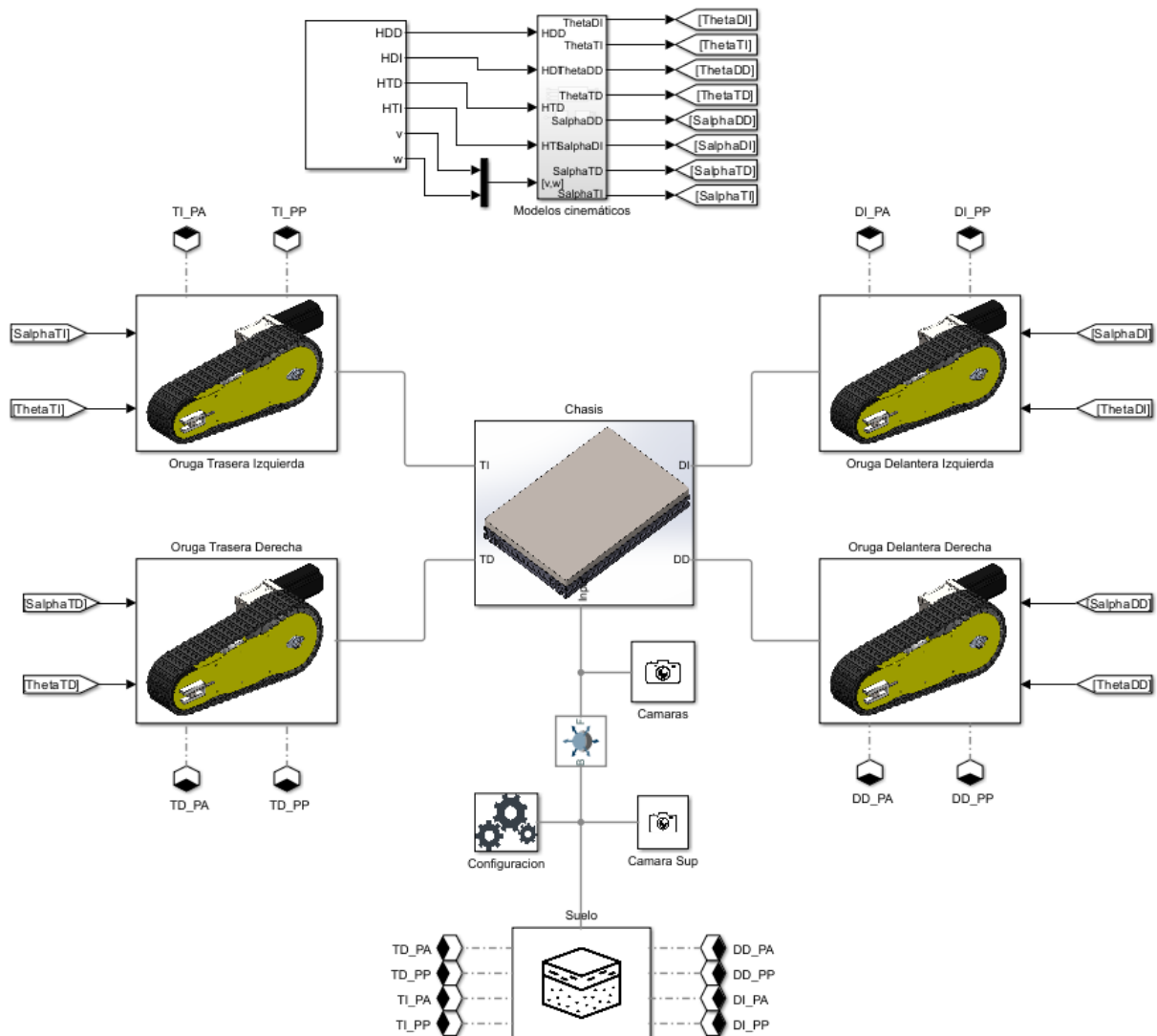


Figura 4.46: Pantalla principal modelo correa seccionada

A continuación, se van a comentar los bloques que han debido ser modificados. Para comenzar, se presenta la figura 4.46, que muestra la pantalla principal del modelo, donde se pueden observar cambios con respecto al modelo de los eslabones tan solo en el bloque del suelo y en los de las orugas.

4.4.1 Suelo

En este caso al usar pocos bloques de fuerzas de contacto se han incluido en el modelo del suelo. Como se ve en la figura 4.47, del sólido que conforma el suelo se sacan ocho ramas que conectarán con las poleas activas y pasivas de cada oruga, con el propio suelo.

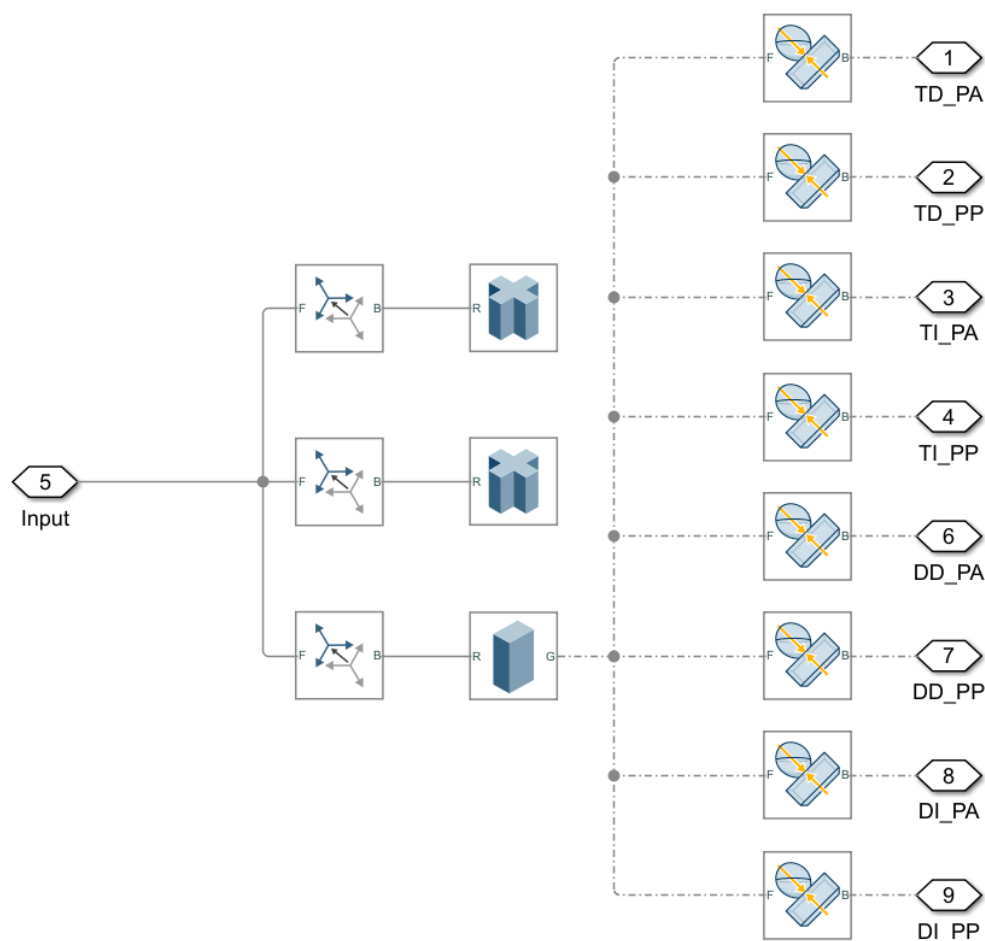


Figura 4.47: Bloque suelo. Modelo seccionado

4.4.2 Orugas

De las orugas se ha vuelto a simplificar el modelo (figura 4.48), ya que se vuelven a tener los bloques que se presentaron en el modelo real, pero incluyendo dos entradas para las fuerzas de contacto que se establecen entre la polea activa y polea pasiva con el suelo.

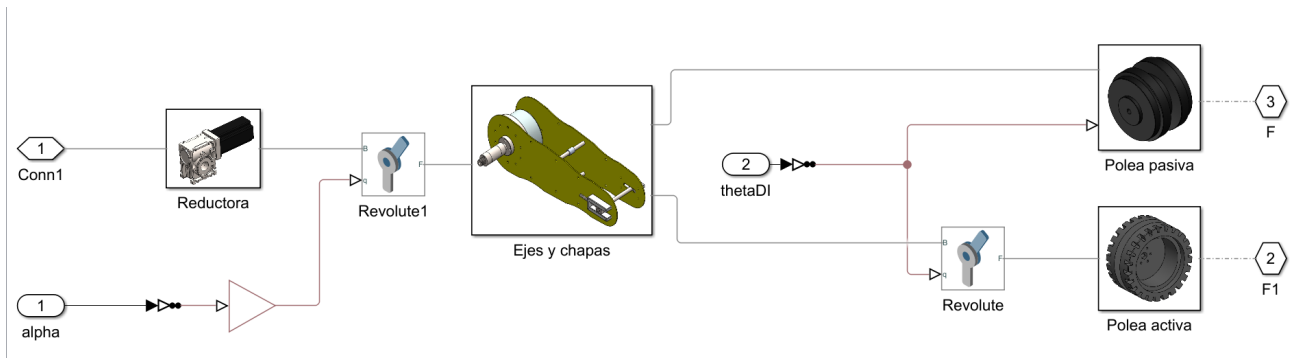


Figura 4.48: Bloque oruga. Modelo seccionado

Polea activa

Las figuras 4.49 y 4.50 muestran como se ha incluido un sólido cilíndrico que se conecta con el suelo esta polea.

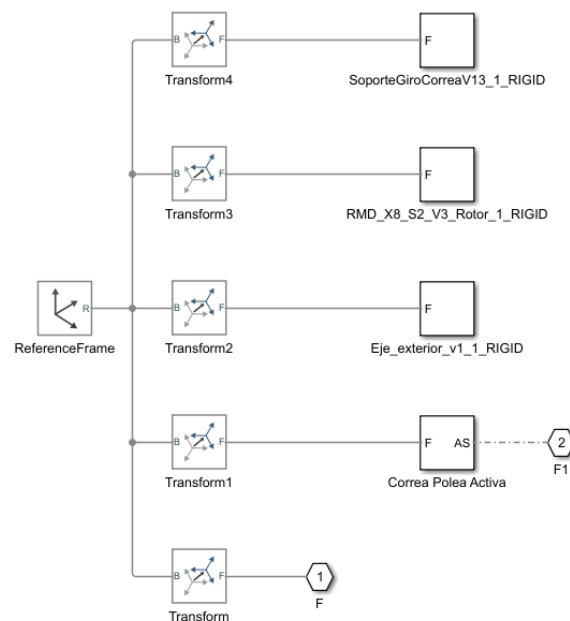


Figura 4.49: Bloque polea activa. Modelo seccionado

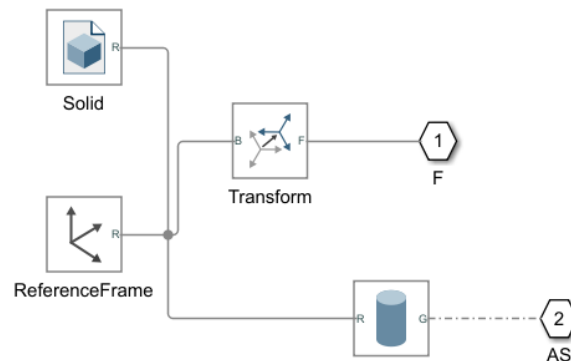


Figura 4.50: Bloque correa polea activa

Polea pasiva

De igual modo se muestra en las figuras 4.51 y 4.52 la conexión procedente de las fuerzas de contacto con el sólido de la polea pasiva.

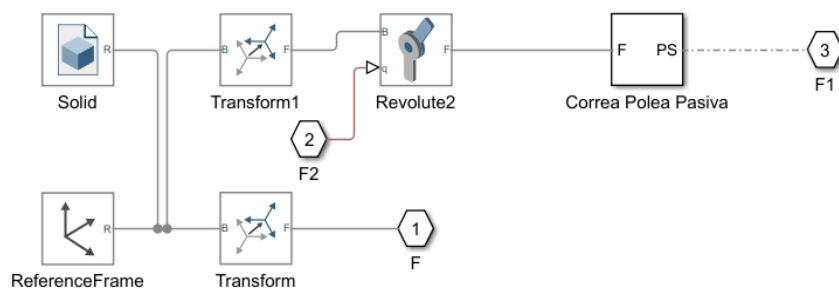


Figura 4.51: Bloque polea pasiva. Modelo seccionado

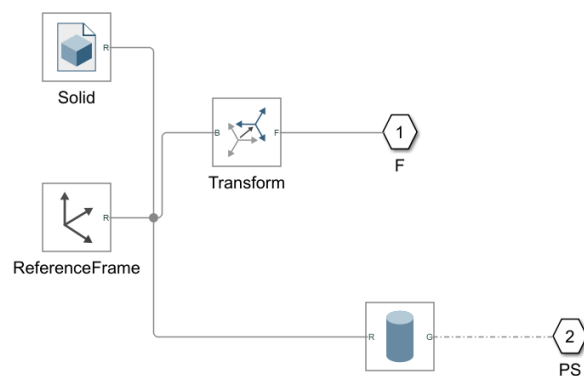


Figura 4.52: Bloque correa polea pasiva

4.5 Resultados de las simulaciones

En este apartado se van a mostrar los resultados arrojados por cada uno de los modelos desarrollados. Para ello, primero se presentarán distintas señales de entrada que se han usado para realizar las simulaciones y se verán las diferencias entre los modelos. Hay que destacar que, en el caso del modelo de eslabones, la simulación resulta ser excesivamente lenta y, por tanto, tan solo se ha podido incluir los resultados de la simulación de una de las señales.

Para obtener los resultados, se han colocado bloques XYGraph y Scope en las entradas de las articulaciones de revolución, lo que brinda como resultado una gráfica en dos dimensiones que describe las trayectorias del robot en el plano XY, y otra gráfica de una sola variable que es la posición en z, o lo que es lo mismo, la altura del robot a lo largo del tiempo.

A modo de introducción y para visualizar el modelo del robot en el entorno de simulación, se han incluido la figura 4.53.

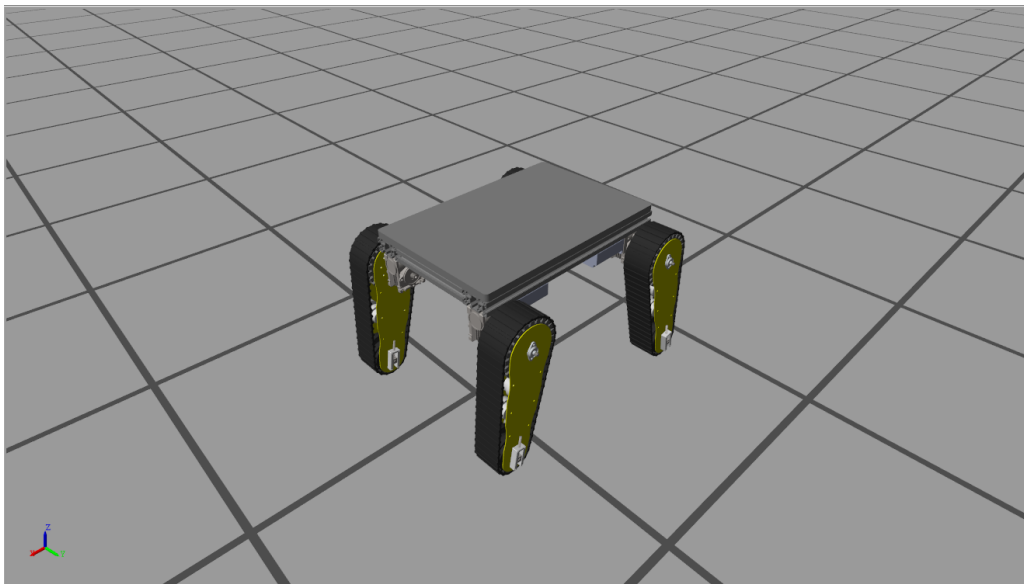


Figura 4.53: Captura robot arriba

4.5.1 Bloque signal editor

Para crear las señales que darán movimiento al robot se ha usado el bloque Signal editor, sustituto del antiguo Signal builder de versiones anteriores de Matlab, y cuya apariencia y configuración se pueden ver en las figuras y 4.54, 4.55, respectivamente.

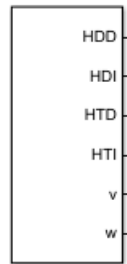


Figura 4.54: Bloque signal editor

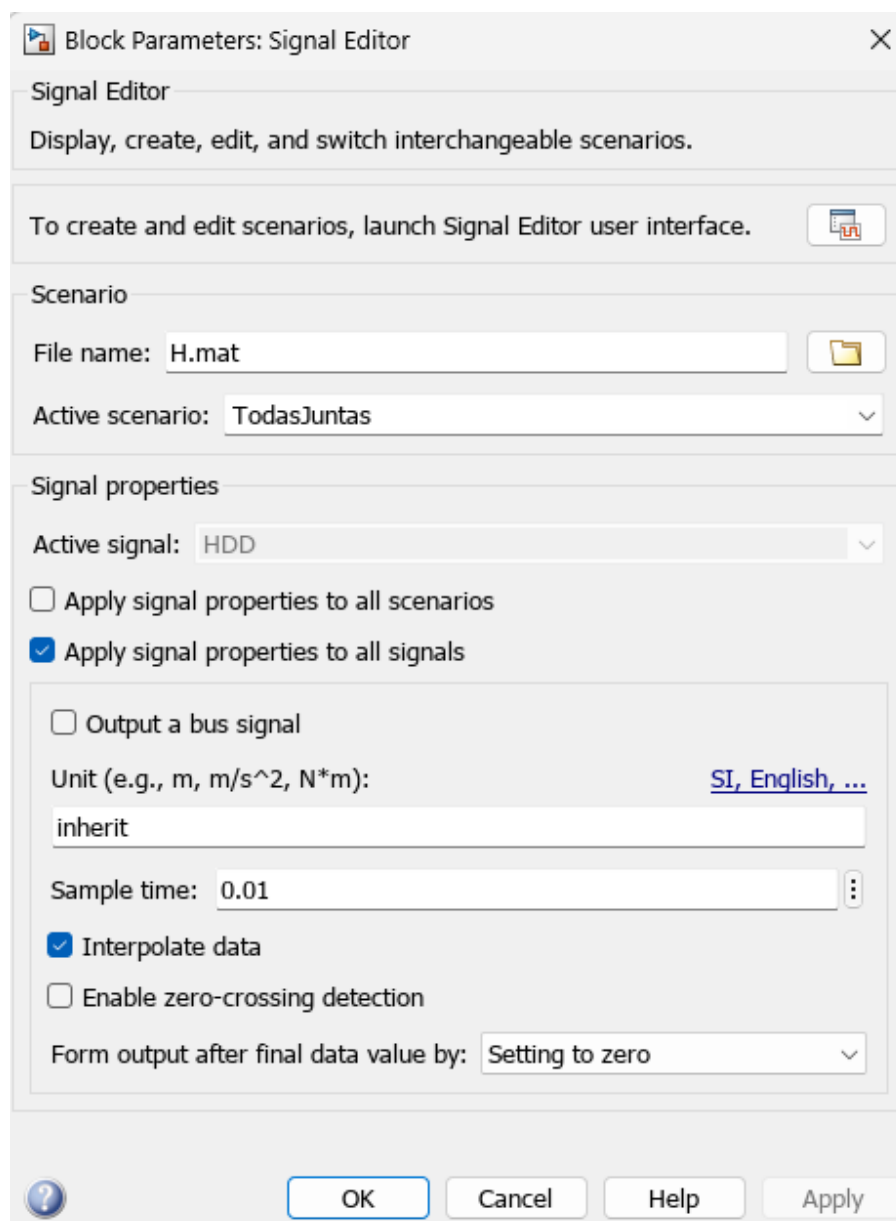


Figura 4.55: Configuración signal editor

4.5.2 Simulación de giro

Para esta primera simulación se van a mantener las orugas en una inclinación constante, y las señales de velocidad lineal (v) y velocidad angular (w) se mantienen también constantes y con un valor mayor de cero. Con esta configuración del signal builder se espera obtener una trayectoria circular del robot.

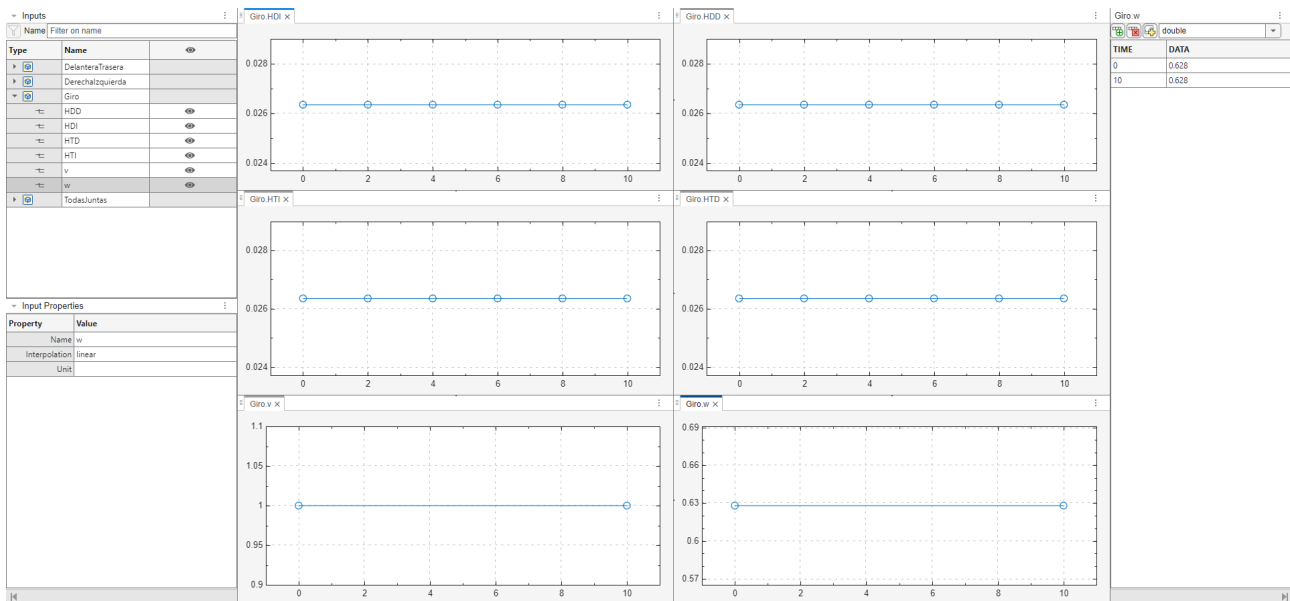


Figura 4.56: Señal giro.

Modelo Real

En la figura 4.57 se puede observar como el modelo real proporciona una trayectoria XY circular perfecta y en cuanto a la altura del robot se mantiene constante a la altura especificada por la señal de entrada, lo que demuestra un comportamiento ideal y correcto del modelo ante esta señal.

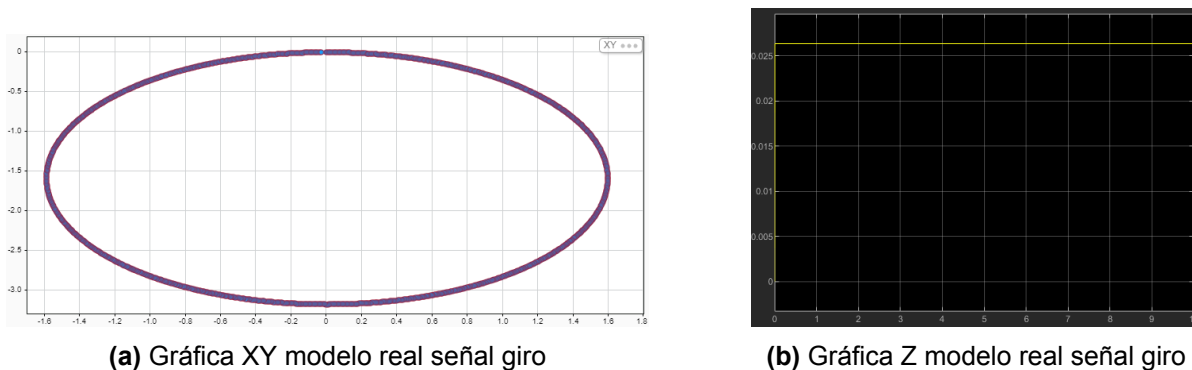
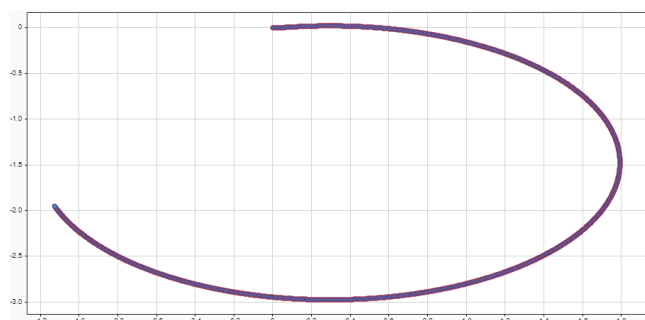


Figura 4.57: Gráficas modelo real señal giro

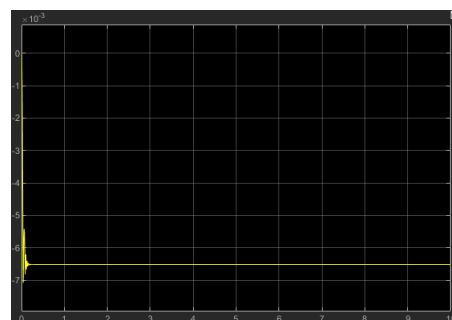
Modelo seccionado

El modelo seccionado presenta diferencias con los resultados de simulación ideales, ya que en la figura 4.58 se ve como el modelo sigue la trayectoria circular de manera muy precisa, pero no finaliza la trayectoria completa y se queda aproximadamente a un cuarto de completar el círculo completo. Este comportamiento es debido a que las fuerzas de rozamiento que se han incluido indirectamente con los bloques de fuerzas de contacto y que permiten que la correa se agarre al suelo, y los pequeños deslizamientos que se provocan entre el suelo y la correa hacen que no se pueda completar la trayectoria.

En cuanto a la gráfica de la altura se ve como este modelo se comporta de forma más realista, ya que aunque acaba por establecerse a la altura determinada no lo hace sin antes tener una pequeña oscilación, que simula lo que sería un comportamiento de amortiguación. Destacar que aunque los valores sean negativos es algo completamente normal, ya que el robot al iniciar la simulación tiene una pequeña distancia entre la parte de contacto de las orugas con el suelo, para evitar colisiones iniciales, lo que hace que al arrancar la simulación el robot caiga libremente hasta la hacer contacto con el suelo, de ahí las distancias negativas.



(a) Gráfica XY modelo seccionado señal giro



(b) Gráfica Z modelo seccionado señal giro

Figura 4.58: Gráficas modelo seccionado señal giro

4.5.3 Simulación de inclinación frontal

Esta simulación tiene la intención de comprobar que el robot es capaz del inclinar las orugas delanteras y traseras de forma independiente. Para ello se establecen las señales de altura de las ruedas de tal forma que las orugas delanteras comiencen a inclinarse y una vez llegan su posición se comienzan a inclinar las traseras, se hace del mismo modo para que vuelvan a la posición inicial de forma asíncrona. La velocidad lineal se establece constante, y la angular es nula, lo que debería resultar en que el robot avance en línea recta. La figura 4.59 muestra las señales de esta simulación.

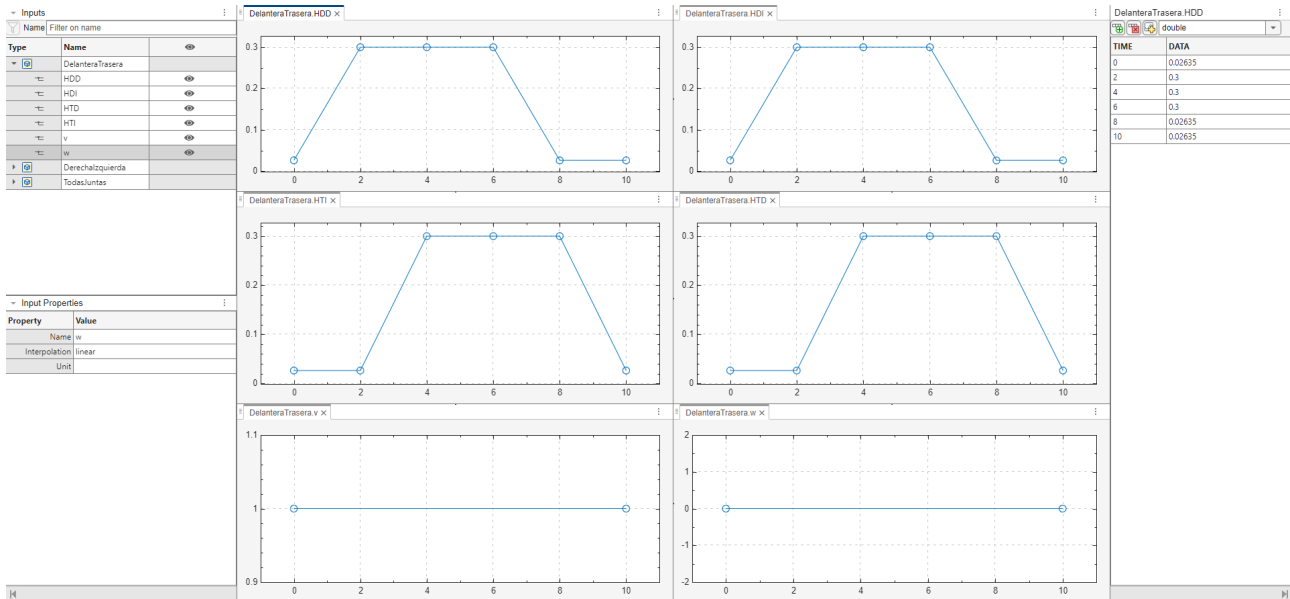


Figura 4.59: Señal inclinación frontal

Modelo Real

El modelo real vuelve a presentar un comportamiento idóneo, siguiendo la trayectoria perfectamente rectilínea, y la altura comienza ascendiendo linealmente, se mantiene constante para finalmente descender linealmente, tal y como se puede ver en la figura 4.61.

La figura 4.60 muestra la el robot en la posición en la que las orugas delanteras estén elevándose mientras las traseras se mantienen completamente rectas.

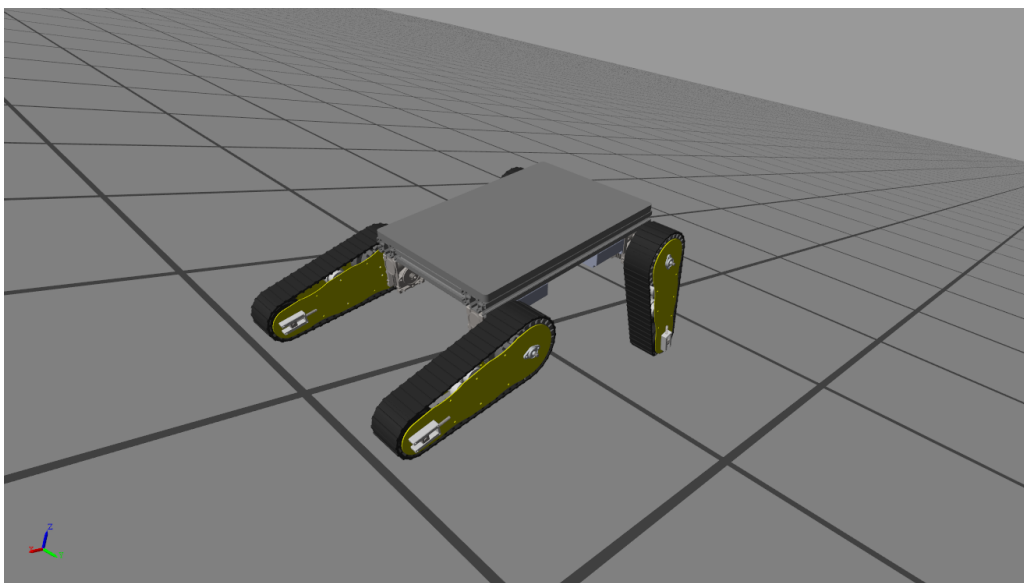
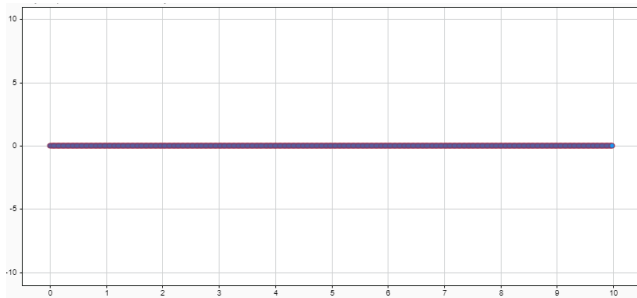
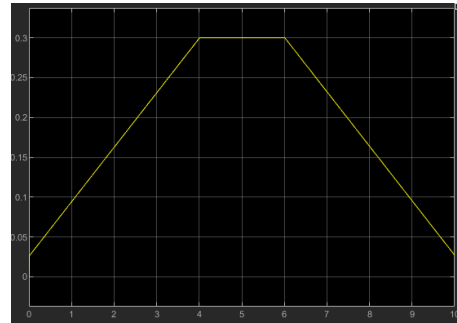


Figura 4.60: Captura robot modelo real inclinación frontal



(a) Gráfica XY modelo real señal inclinación frontal



(b) Gráfica Z modelo real señal inclinación frontal

Figura 4.61: Gráficas modelo real señal frontal

Modelo seccionado

El modelo seccionado muestra las señales de la figura 4.63 en las que se ve como la trayectoria no es completamente lineal, y aunque la gráfica pueda parecer alarmante, la trayectoria no difiere mucho de la realidad ya que se desvía de la línea recta perfecta por unos milímetros, comportamiento ocasionado por las fuerzas de rozamiento que hacen que aleatoriamente los tacos exteriores de las distintas orugas tengan rozamientos distintos ocasionando una pequeña desviación.

La gráfica de la altura vuelve a demostrar el comportamiento realista del sistema al seguir el mismo patrón que el modelo real, pero no siendo un ascenso y descenso lineal.

La figura 4.62 muestra el comportamiento de la simulación.

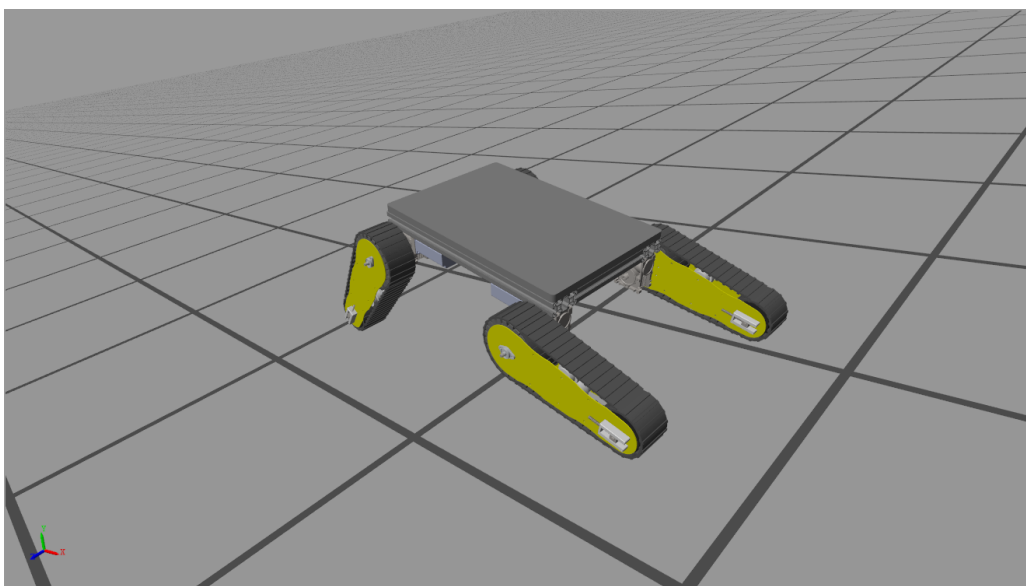
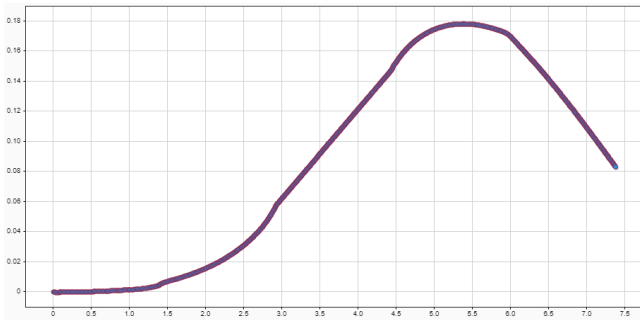
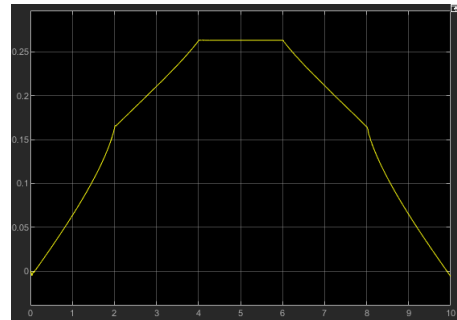


Figura 4.62: Captura robot modelo seccionado inclinación frontal



(a) Gráfica XY modelo seccionado señal inclinación frontal



(b) Gráfica Z modelo seccionado señal inclinación frontal

Figura 4.63: Gráficas modelo seccionado señal inclinación frontal

4.5.4 Simulación de inclinación lateral

Con esta simulación se va a comprobar que el robot es capaz de inclinarse lateralmente. Para ello se establecen las señales de la figura 4.64 que hará que el robot se mueva en línea recta, mientras se inclina lateralmente al inclinar de forma simultánea las orugas de cada uno de los laterales.

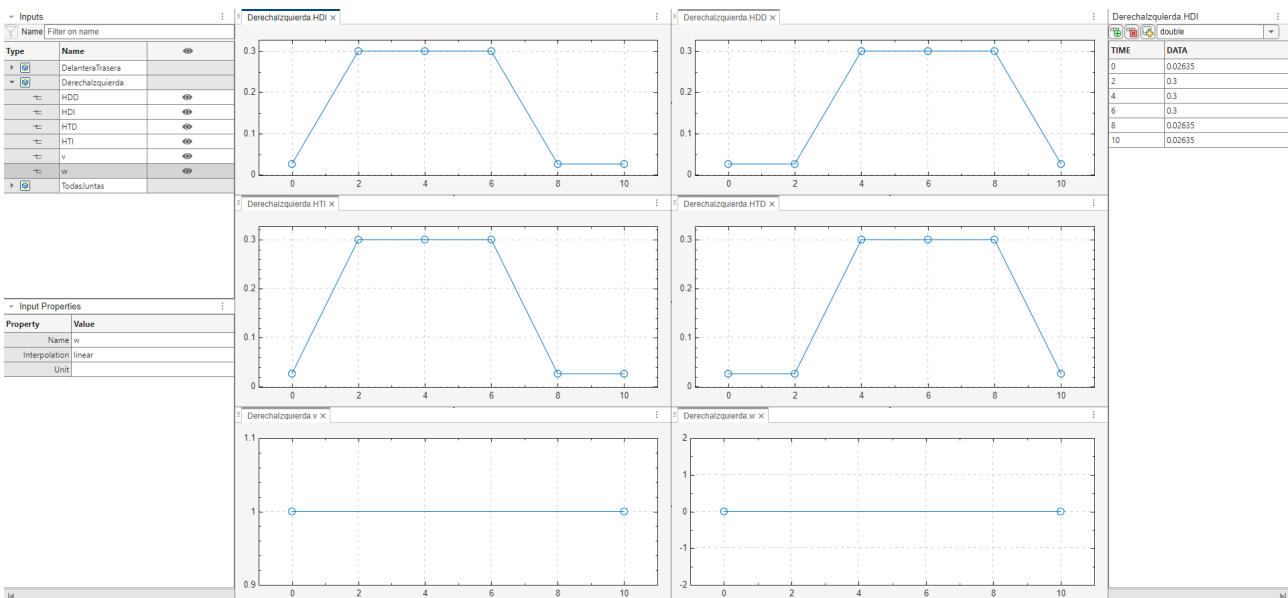


Figura 4.64: Señal inclinación lateral

Modelo Real

La figura 4.67 muestra el robot en la posición de simulación de este caso. Se vuelve a ver en la figura 4.66 un comportamiento realista del modelo.

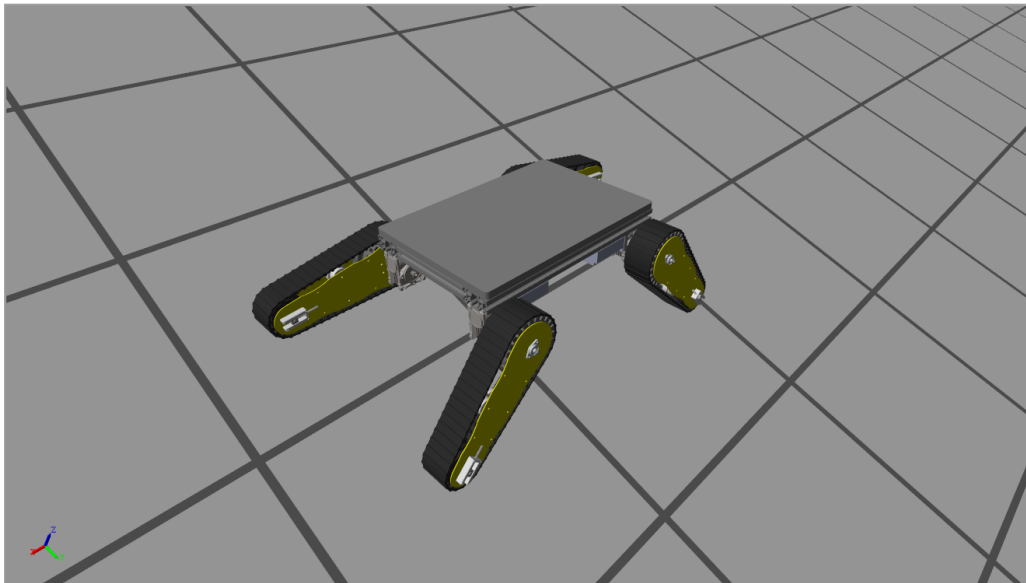
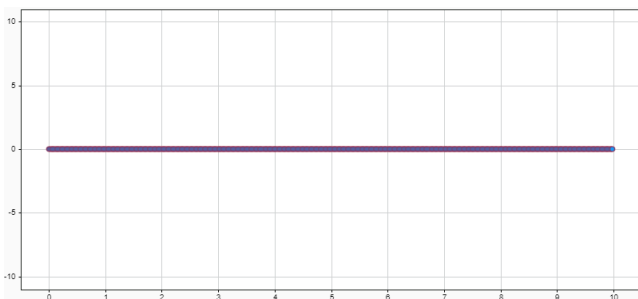
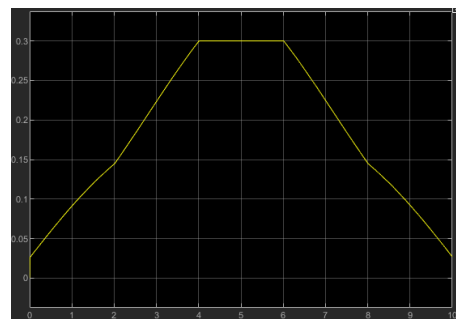


Figura 4.65: Captura robot modelo real inclinación lateral



(a) Gráfica XY modelo real señal inclinación lateral



(b) Gráfica Z modelo real señal inclinación lateral

Figura 4.66: Gráficas modelo real señal inclinación lateral

Modelo seccionado

El modelo seccionado ante esta señal de entrada en el entorno de simulación queda presente en la figura 4.67, y los resultados de simulación difieren del comportamiento ideal por las razones mencionadas en el apartado anterior, ya que son simulaciones muy parecidas cambiando sólo el plano respecto al cual se inclina el robot.

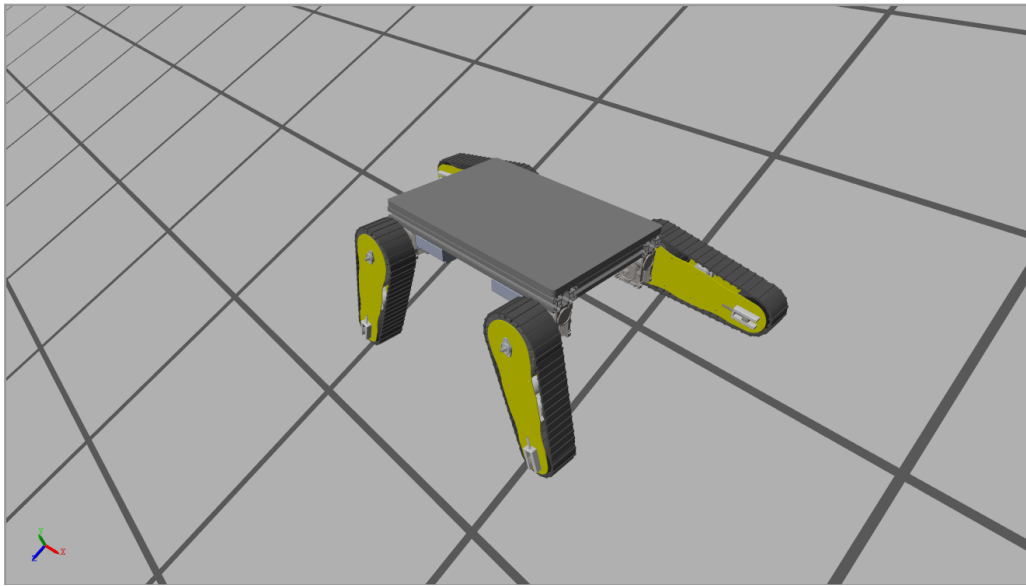
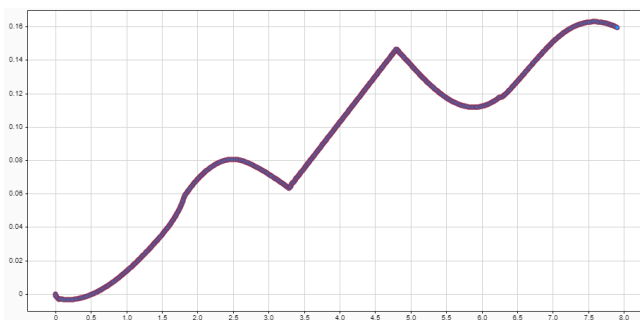
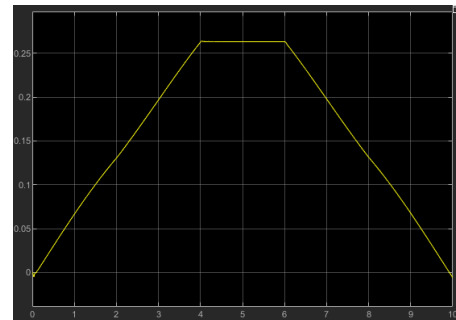


Figura 4.67: Captura robot modelo seccionado inclinación lateral



(a) Gráfica XY modelo seccionado señal inclinación lateral



(b) Gráfica Z modelo seccionado señal inclinación lateral

Figura 4.68: Gráficas modelo seccionado señal inclinación lateral

4.5.5 Simulación de trayectoria aleatoria

Esta trayectoria esta pensada para ver en conjunto las características de los modelos ante diferentes situaciones. La trayectoria a seguir definida por medio de las señales de la figura 4.69 comienza avanzando en línea recta mientras el robot se va inclinando progresivamente primero elevando las orugas de un lateral y a continuación las del otro. En este punto se incluye un giro estático de 360 grados que orienta al robot en dirección contraria a la que traía. A continuación el robot avanza mientras baja las orugas e incluye un giro mientras vuelve a elevarse con las cuatro orugas de forma constante.

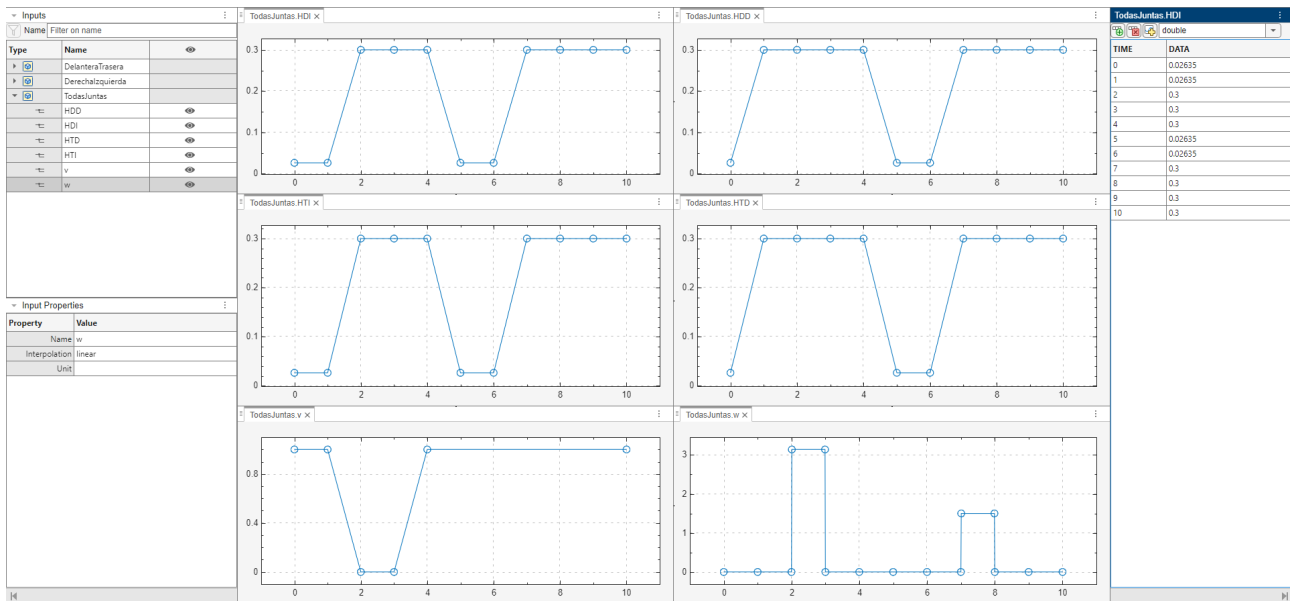
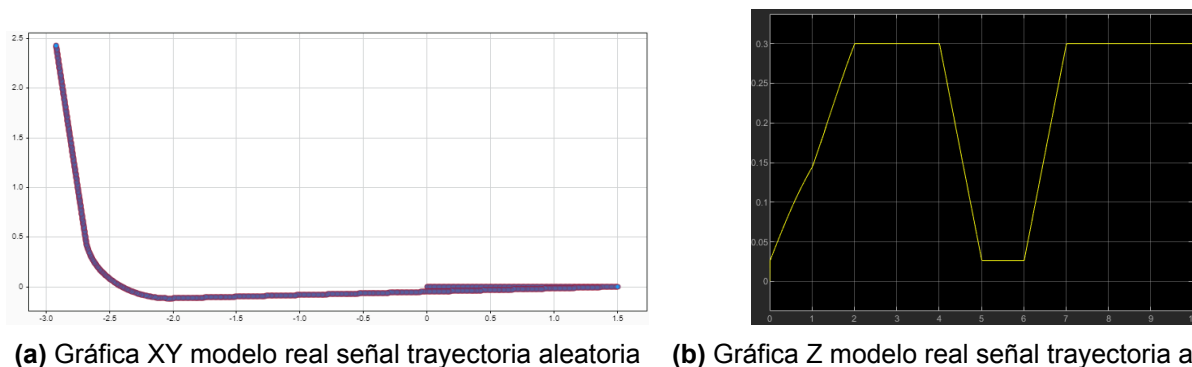


Figura 4.69: Señal simulación aleatoria

Modelo Real

Los resultados mostrados en la figura 4.70 confirman el correcto funcionamiento del modelo real. La gráfica XY se ve la trayectoria descrita, mientras que en la gráfica Z se observa que el robot asciende, desciende para acabar ascendiendo de nuevo, tal como se esperaba.



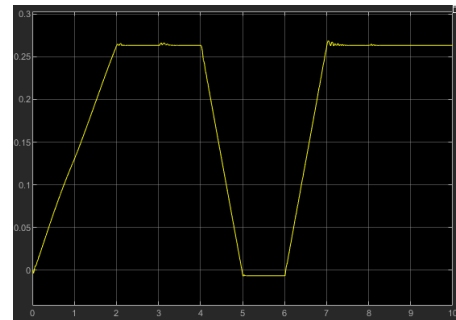
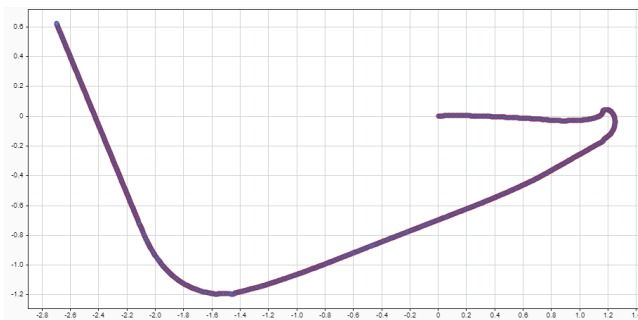
(a) Gráfica XY modelo real señal trayectoria aleatoria **(b)** Gráfica Z modelo real señal trayectoria aleatoria

Figura 4.70: Gráficas modelo real señal inclinación trayectoria aleatoria

Modelo seccionado

El modelo seccionado cuyas gráficas correspondientes se ofrecen en la figura 4.71 siguen en la línea de las simulaciones anteriores. Se vuelve a distorsionar la gráfica XY debido a las fuerzas de rozamiento pero mantiene la forma del resultado del modelo real. En cuanto a la gráfica Z es prácticamente idéntica a la del modelo real pero añadiendo oscilaciones

antes de establecerse un valor constante de altura, siendo un resultado bastante realista y aceptable.



(a) Gráfica XY modelo seccionado señal trayectoria aleatoria (b) Gráfica Z modelo seccionado señal trayectoria aleatoria

Figura 4.71: Gráficas modelo seccionado señal trayectoria aleatoria

Modelo eslabones

Esta es la única simulación que se ha realizado del modelo de eslabones, decir que el tiempo de simulación excedió las tres horas, por lo que se hace inviable realizar todas las simulaciones anteriores para este modelo. En cualquier caso es suficiente con esta simulación porque es la más completa e incluye las principales características de todas las anteriores juntas.

En las figuras 4.72 y 4.73 se encuentra este modelo en el entorno de simulación. En ellas se puede apreciar como los eslabones se mueven libremente alrededor de las poleas de las oruga, motivo principal de que la simulación requiera tantos recursos, pues se están simulando las fuerzas de contacto de cada eslabón con el suelo, además de con cada una de las poleas, lo que suma un total de unos quinientos contactos entre distintos elementos (teniendo en cuenta que el modelo se optimizó reduciendo a la mitad el número de eslabones que tenían fuerzas de contacto).

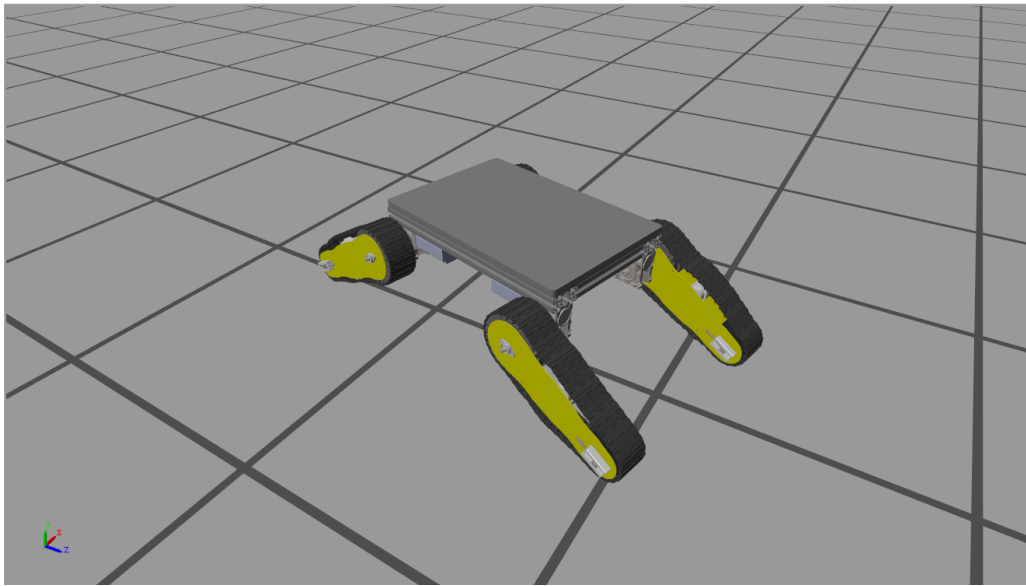


Figura 4.72: Captura robot modelo eslabones

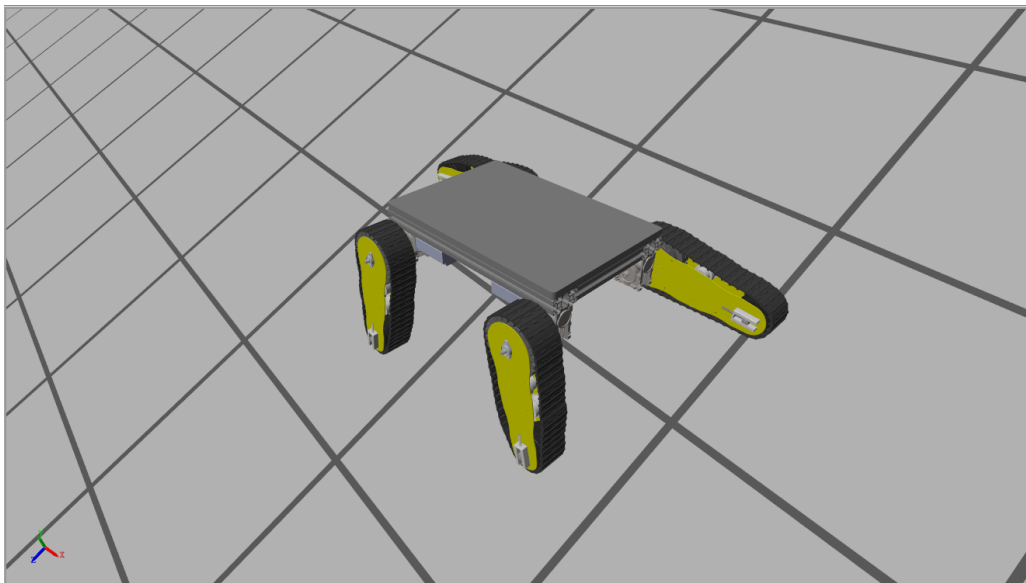
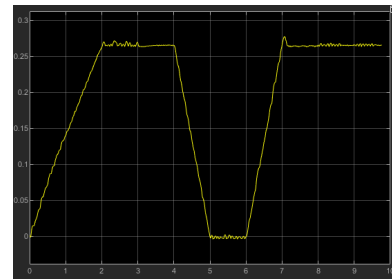
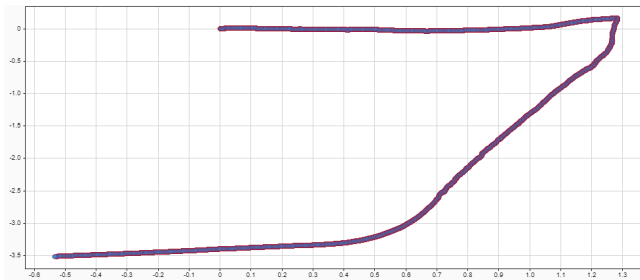


Figura 4.73: Captura robot modelo eslabones inclinación lateral

A la vista quedan los resultados de esta simulación en la figura 4.74, donde se que la trayectoria seguida en el plano XY sigue los patrones definidos por las señales de entrada, consiguiendo así un resultado aceptable y realista. La gráfica de la altura ofrece resultados más que razonables, siendo prácticamente igual a la del modelo seccionado y consiguiendo llegar a la altura deseada, aunque arrastrando el problema de las oscilaciones que en este caso se prolongan incluso durante los tramos donde la altura es estable.



(a) Gráfica XY modelo eslabones señal trayectoria aleatoria (b) Gráfica Z modelo eslabones señal trayectoria aleatoria

Figura 4.74: Gráficas modelo eslabones señal trayectoria aleatoria

4.6 Conclusión

Se ha podido comprobar como todos los modelos funcionan correctamente ofreciendo resultados adecuados para cada modelo en concreto, cada uno con sus particularidades.

Resumiendo se han creado tres modelos, uno ideal y que serviría a nivel teórico con el único problema de que no se ajusta a la realidad, uno con eslabones que podría ofrecer resultados realistas a pesar de no tener la correa real pero desafortunadamente no es viable utilizarlo debido a su excesivo tiempo de simulación, problema que se podría solventar en un futuro si aparecieran en el mercado ordenadores más potentes de los actuales, o bien cuando Matlab optimice los bloques de fuerzas de contacto, ya que es un bloque relativamente nuevo y aún tiene margen de mejora. Y por último se tiene el modelo seccionado que el punto intermedio entre ambos, tanto a nivel de realismo, como a nivel de tiempos de simulación ya que simula prácticamente a tiempo real, y que por tanto sería el más adecuado para simular el sistema.

Como conclusión en este apartado se ha podido comprobar el potencial de Multibody para simular este tipo de robots móviles y las diversas opciones que ofrece para crear los modelos, además de la facilidad de integración con software de diseño CAD, que facilita mucho la creación de modelos.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Introducción

En este capítulo, se llevará a cabo una reflexión detallada sobre los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo, así como las conclusiones que se derivan de ellos. Asimismo, se destacarán algunas líneas de trabajo futuras que podrían explorarse como continuación de este estudio.

5.2 Conclusiones obtenidas

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo han sido exitosos, logrando el cumplimiento de todos los objetivos establecidos.

En primer lugar, se han conseguido diseñar todas las piezas necesarias para la fabricación del sistema de tracción con orugas deseado. Esto incluye elementos fundamentales como ejes, y las poleas sobre las cuales girará la correa, así como las piezas del sistema de tensión, indispensable para facilitar el montaje y la funcionalidad del sistema. Además, se recopilieron los modelos de piezas comerciales necesarias.

En segundo lugar, se llevó a cabo el ensamblaje de las piezas diseñadas, obteniendo como resultado el ensamblaje físico de la oruga que será utilizado en su fabricación, además de implementar otros ensamblajes alternativos utilizados en la simulación del sistema.

En tercer lugar, se abordó el diseño de tres modelos de simulación de la oruga, usando distintas técnicas y herramientas, brindando la posibilidad de escoger el modelo más adecuado para simulación dependiendo de los requerimientos. El elemento diferencial entre los modelos es la inclusión de elementos de la librería Simscape Multibody Contact Forces [20], que brindan una alternativa de modelado más realista del sistema.

A nivel personal, este trabajo ha permitido adquirir diversas competencias que no se tratan en el Grado en Ingeniería Electrónica, Robótica y Mecatrónica, como es el diseño

CAD y que se aplican continuamente en el ámbito laboral de la ingeniería. Además se ha profundizado en la herramienta Simulink de Matlab, aplicando un enfoque práctico. Otras herramientas interesantes que se han aplicado al trabajo es la gestión de proyectos de Matlab mediante el repositorio online Github [21], y en cuanto a la redacción de la memoria se ha realizado en el lenguaje de programación Latex, mediante la plataforma Overleaf [22].

5.3 Líneas de trabajo futuras

Como ya se ha comentado el trabajo ha obtenido unos buenos resultados, pero aún se podría seguir trabajando en algunas mejoras sustanciales.

- Mejora del rendimiento de la simulación del modelo de eslabones. Ésta simulación resulta ser demasiado lenta y mediante el uso de sistemas hardwares más potentes, o un rediseño de optimización del modelo podría mejorar el rendimiento.
- Incluir nuevos modelos de simulación. Se podría investigar como crear nuevos modelos, ya sea en Matlab, o en otros softwares, que por ejemplo, permitan incluir partes flexibles, con lo que la correa sería completamente realista.
- Añadir más partes del robot al ensamblaje. Si se diseñan más partes del robot como podría ser un chasis definitivo, el brazo robot y demás sistemas, se podrían incluir en el ensamblaje del robot.
- Fabricación en físico del sistema, para lo que podría ser necesario rediseñar o modificar algunos elementos de los diseñados en este trabajo.

Bibliografía

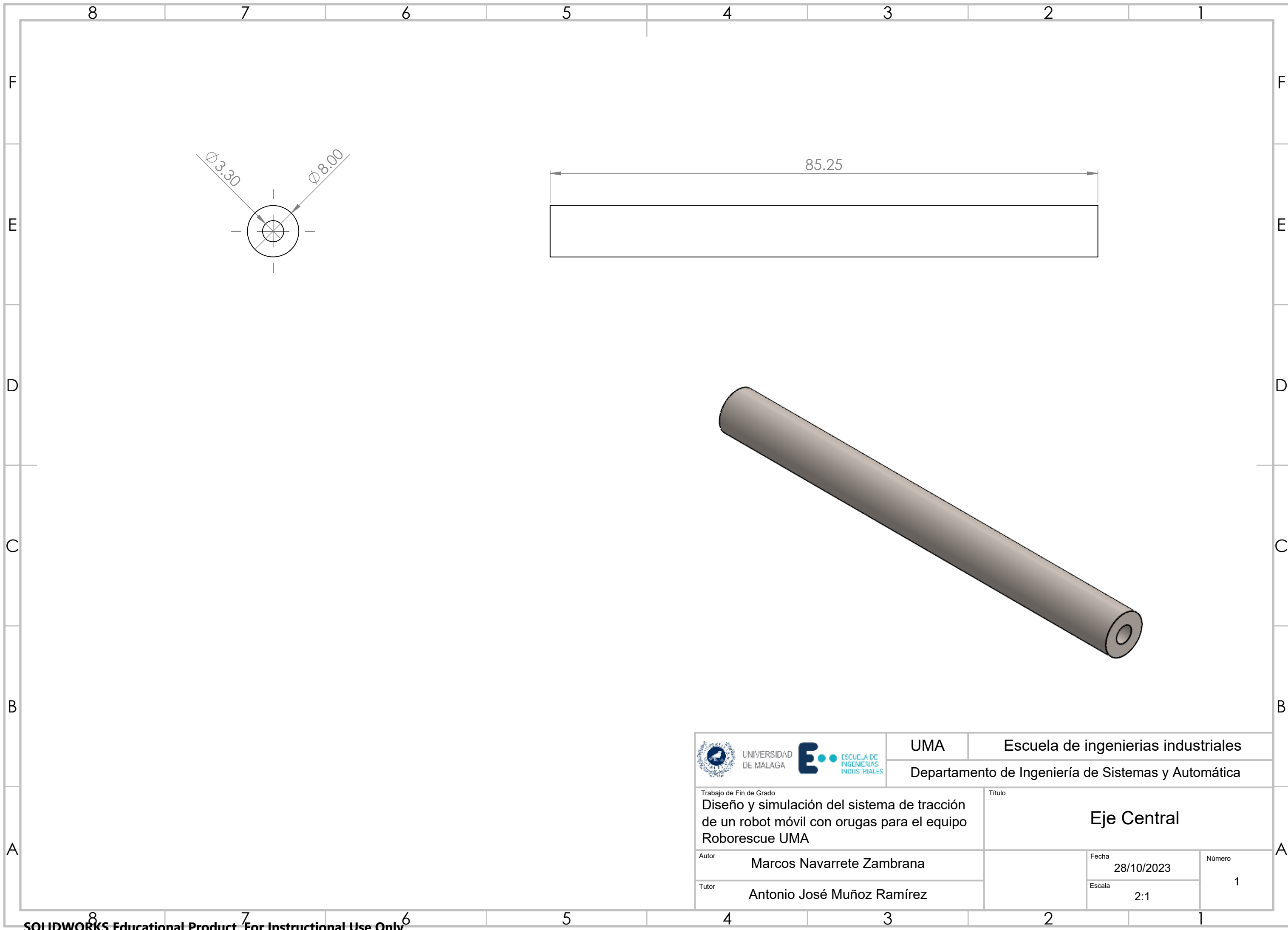
- [1] *RoboCupRescue Robot League*. dirección: <https://rrl.robocup.org/>.
- [2] Y. Morimoto, T. Tomiyama y R. Michikawa, «RoboCup Rescue 2022 Team Description Paper SHINOBI». dirección: <https://youtu.be/-HCrKGjENzQ>.
- [3] K. Daun, M. Oehler, M. Schnaubelt y S. Fabian, «RoboCup Rescue 2022 Team Description Paper Hector Darmstadt». dirección: www.teamhector.de.
- [4] J. Suthakorn, S. Ongwattanakul, N. Nillahoote et al., «RRL2022 BART LAB Rescue Robotics Team Thailand». dirección: <https://bartlabmu.org>.
- [5] D. Caron, M.-O. Champagne, A. Djoual et al., «RoboCup Rescue 2022 Team Description Paper Capra». dirección: <https://clubcapra.com>.
- [6] *Past Champions – RoboCupRescue Robot League*. dirección: <https://rrl.robocup.org/past-awards/>.
- [7] *TDPs – TDP*. dirección: <https://tdp.robocup.org/tdp/>.
- [8] *RoborRescue UMA*. dirección: <https://roborescue.uma.es/>.
- [9] *Controlador de Servo sin Escobillas RMD-X8S2 V3, CAN, 1:36, MC-X-500-O MYACTUATOR - RobotShop*. dirección: <https://www.robotshop.com/es/products/myactuator-rmd-x8s2-v3-can-bus-136-mc-x-500-o-brushless-servo-driver>.
- [10] *Reductor de velocidad de caja de engranajes helicoidales, eje de entrada de 11mm, 5:1-80:1, NMRV030, RV030, con Motor NEMA 23, controlador 1,2/2/2, 2/3nm, DM542 - AliExpress*. dirección: <https://es.aliexpress.com/item/4000532033569.html>.
- [11] *Kit de Oruga de Goma y Piñones A4WD3 Lynxmotion - RobotShop*. dirección: <https://eu.robotshop.com/es/products/lynxmotion-a4wd3-rubber-track-sprocket-kit>.
- [12] *Simscape Multibody - MATLAB*. dirección: <https://es.mathworks.com/products/simscape-multibody.html>.
- [13] *SOLIDWORKS*. dirección: <https://www.solidworks.com/es>.
- [14] *57HS112 nema23 step motor files - 3D CAD Model Library | GrabCAD*. dirección: <https://grabcad.com/library/57hs112-nema23-step-motor-1/files>.
- [15] *Worm Gear Reducer NMRV030 | 3D CAD Model Library | GrabCAD*. dirección: <https://grabcad.com/library/worm-gear-reducer-nmr030-1>.
- [16] *DOWNLOAD | MyActuator*. dirección: <https://www.myactuator.com/download>.
- [17] E. C. Gordillo, «Trabajo fin de grado: Simulación del robot móvil Rumbler», 2017.
- [18] *MATLAB and Simulink Racing Lounge: Vehicle Modeling with Simscape Multibody - File Exchange - MATLAB Central*. dirección: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/64648-matlab-and-simulink-racing-lounge-vehicle-modeling-with-simscape-multibody>.
- [19] *simscape/Tracked-Vehicles-Simscape: Model a tracked vehicle driving on uneven surfaces. Model track segments or abstract model with multiple rollers per track*. dirección: <https://github.com/simscape/Tracked-Vehicles-Simscape>.

- [20] *Simscape Multibody Contact Forces Library - File Exchange - MATLAB Central*. dirección: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/47417-simscape-multibody-contact-forces-library>.
- [21] *RoboRescueUMA/SimulacionOrugas*. dirección: <https://github.com/RoboRescueUMA/SimulacionOrugas>.
- [22] *Overleaf, Online LaTeX Editor*. dirección: <https://www.overleaf.com/project>.

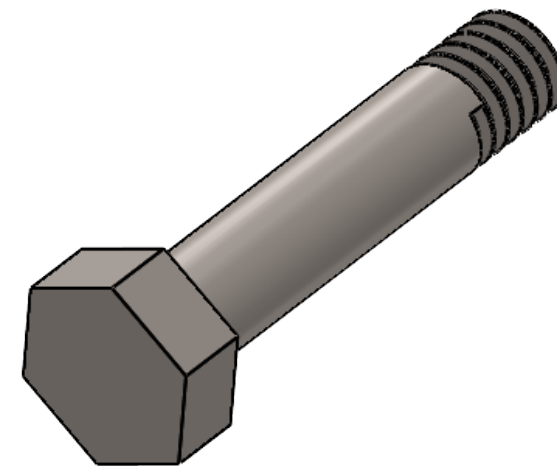
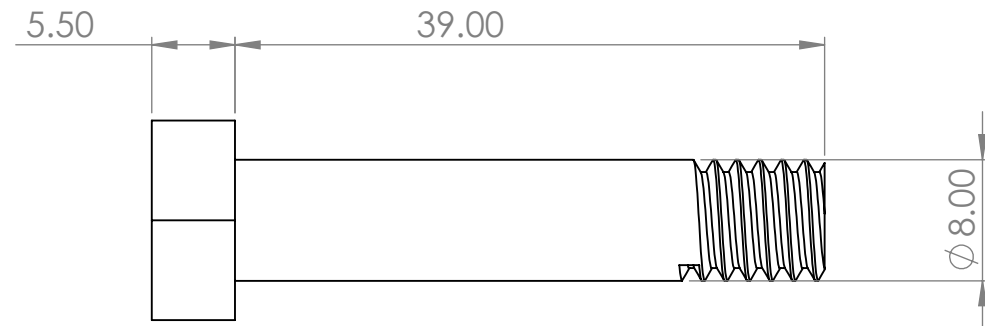
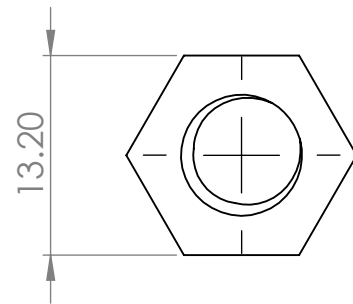


Apéndice A

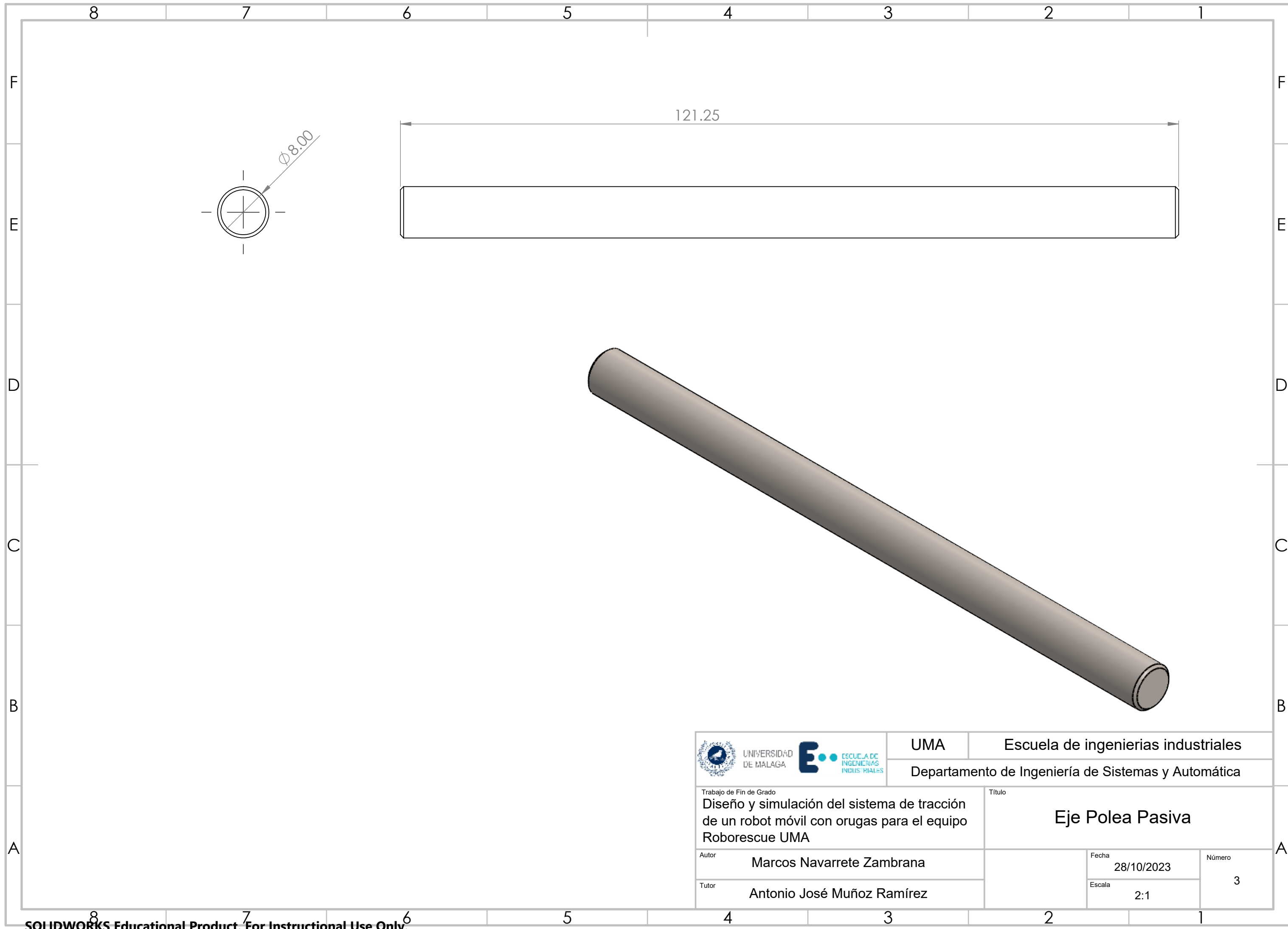
Planos



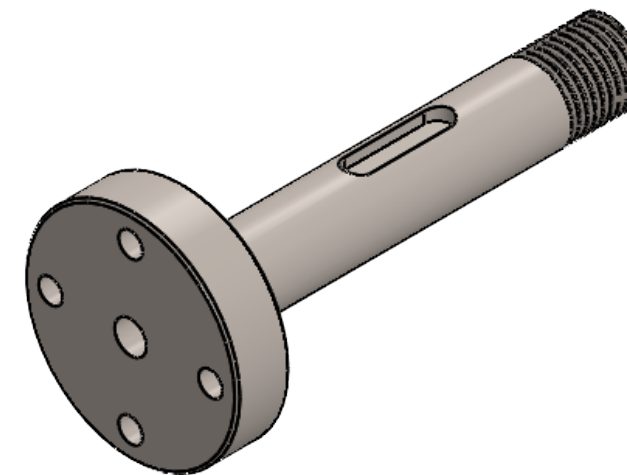
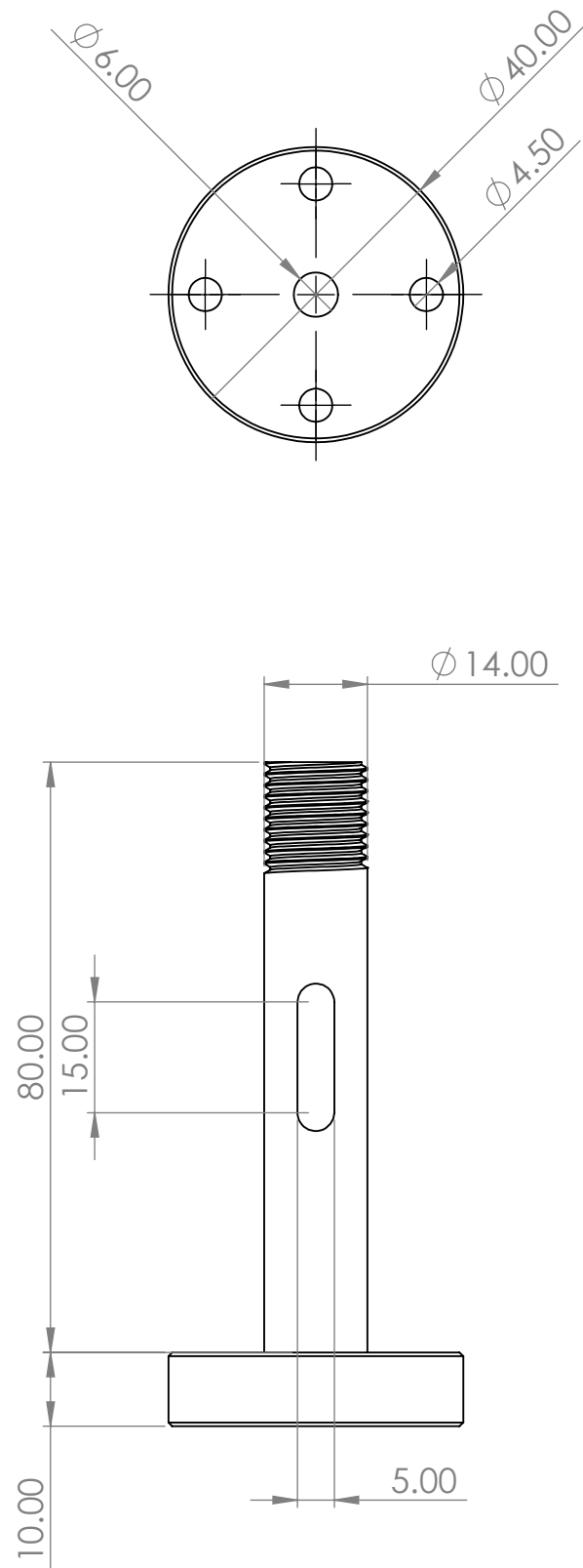
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado				Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA				Eje Central			
Autor		Marcos Navarrete Zambrana			Fecha		Número
					28/10/2023		
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez			Escala		1
					2:1		



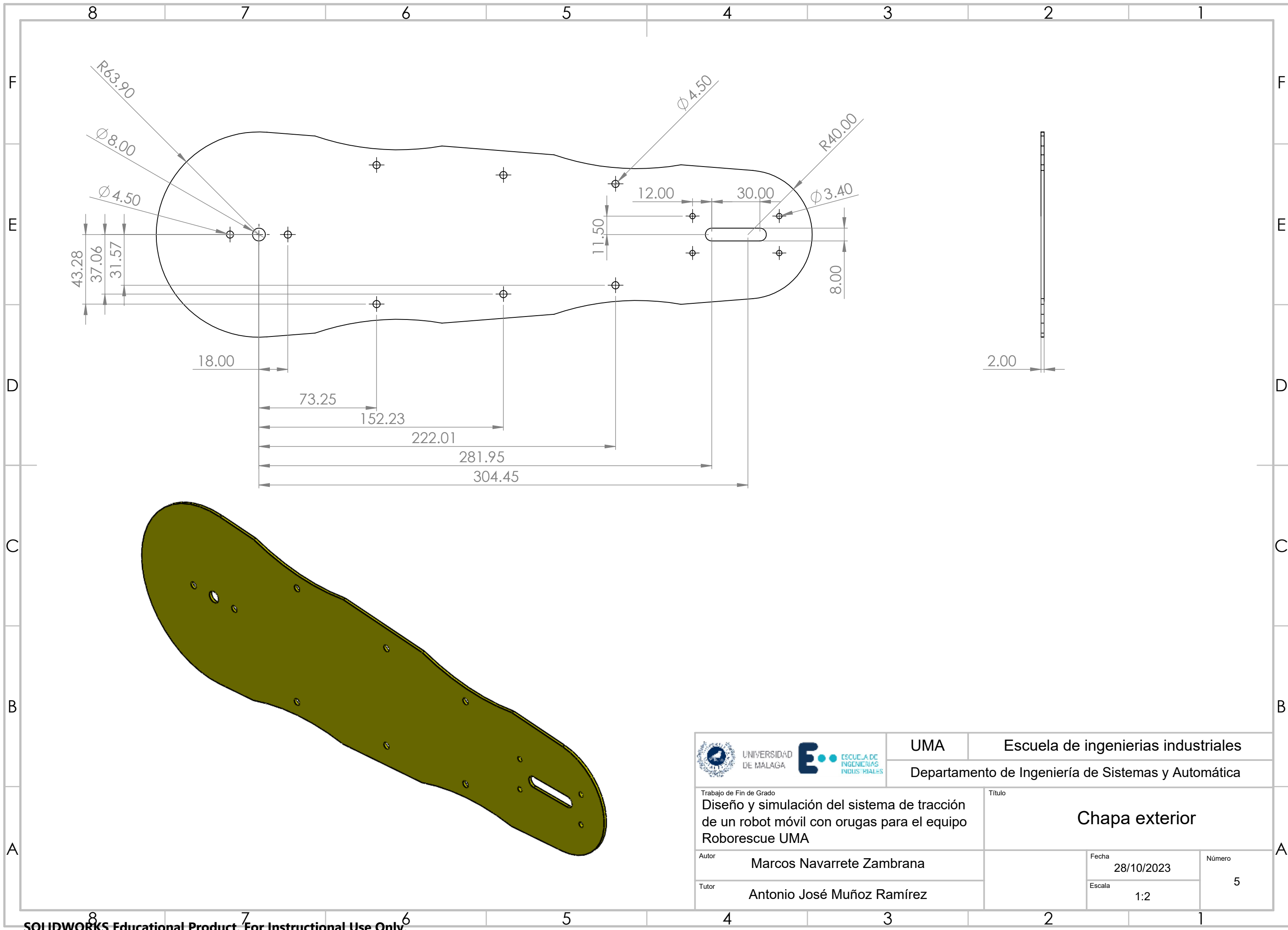
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado					Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA					Eje exterior		
Autor					Fecha		Número
Marcos Navarrete Zambrana					28/10/2023		
Tutor					Escala		2
Antonio José Muñoz Ramírez					2:1		



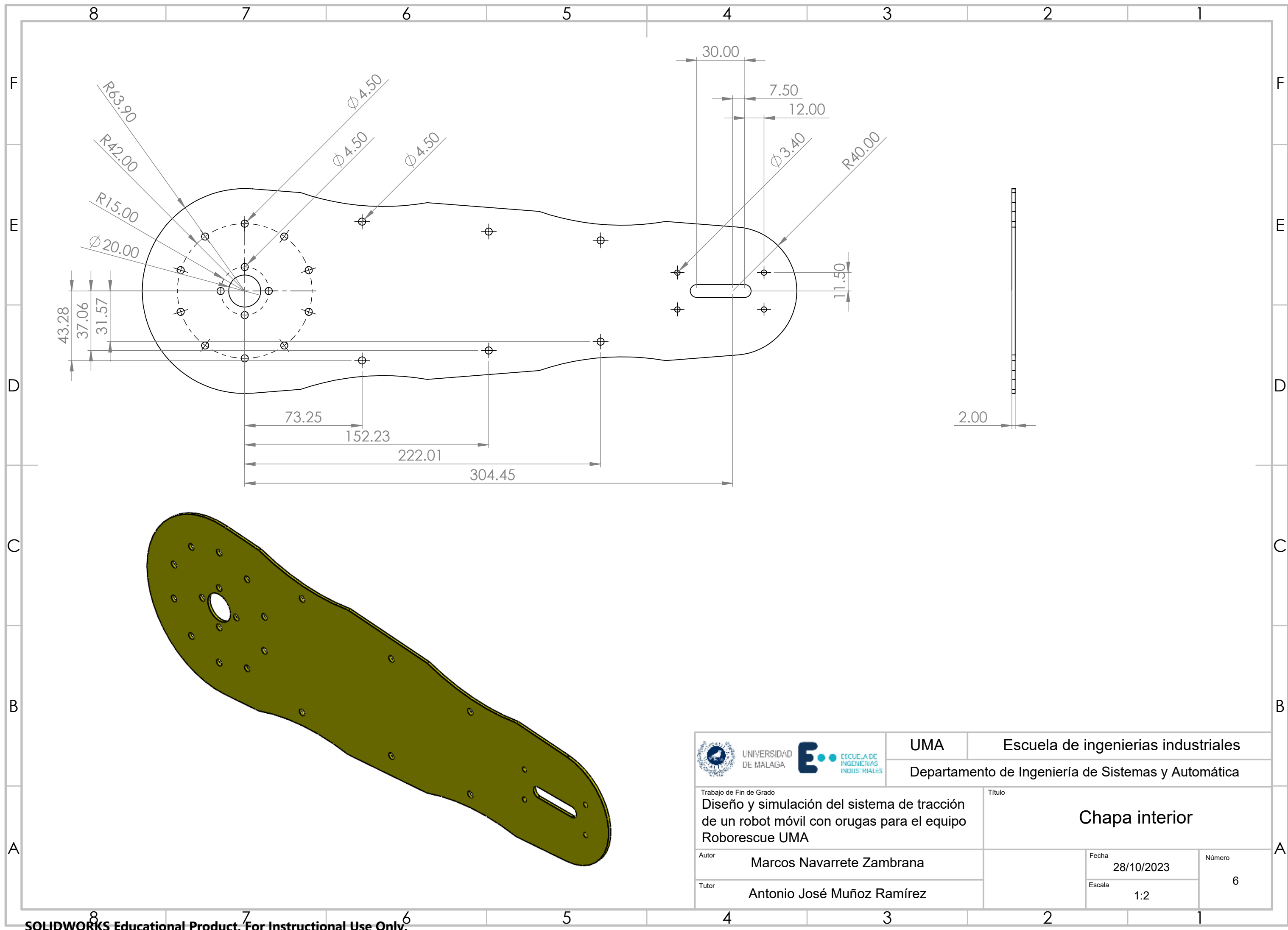
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado				Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA				Eje Polea Pasiva			
Autor		Marcos Navarrete Zambrana			Fecha		Número
					28/10/2023		
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez			Escala		3
					2:1		



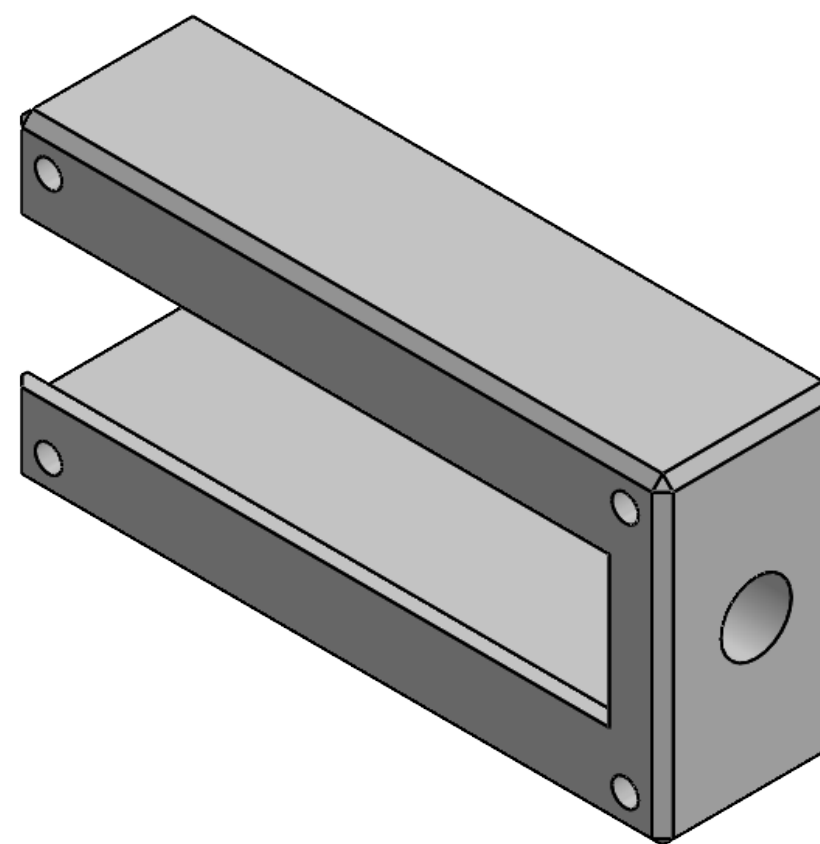
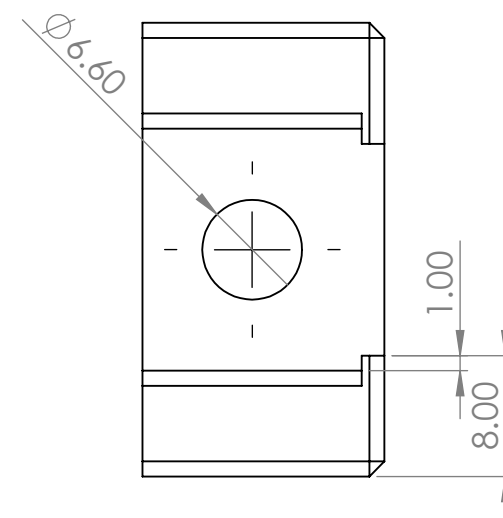
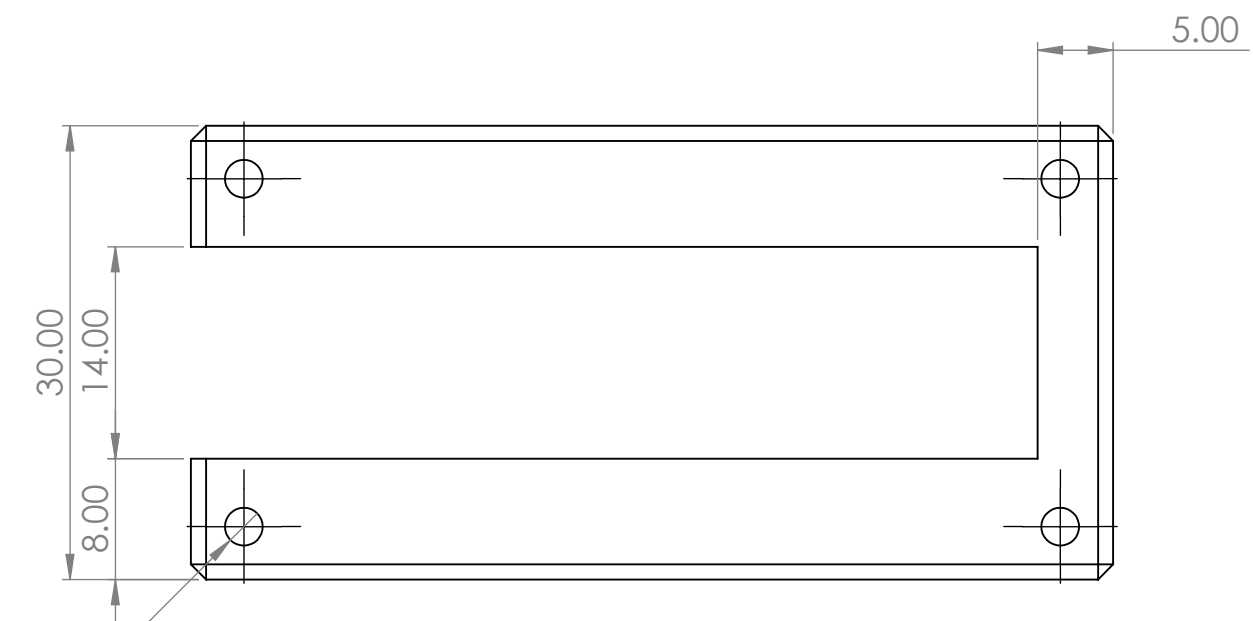
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA	Escuela de ingenierías industriales	
			Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática		
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA			Eje Reductora		
Autor			Fecha		Número
Marcos Navarrete Zambrana			28/10/2023		
Tutor			Escala		4
Antonio José Muñoz Ramírez			1:1		



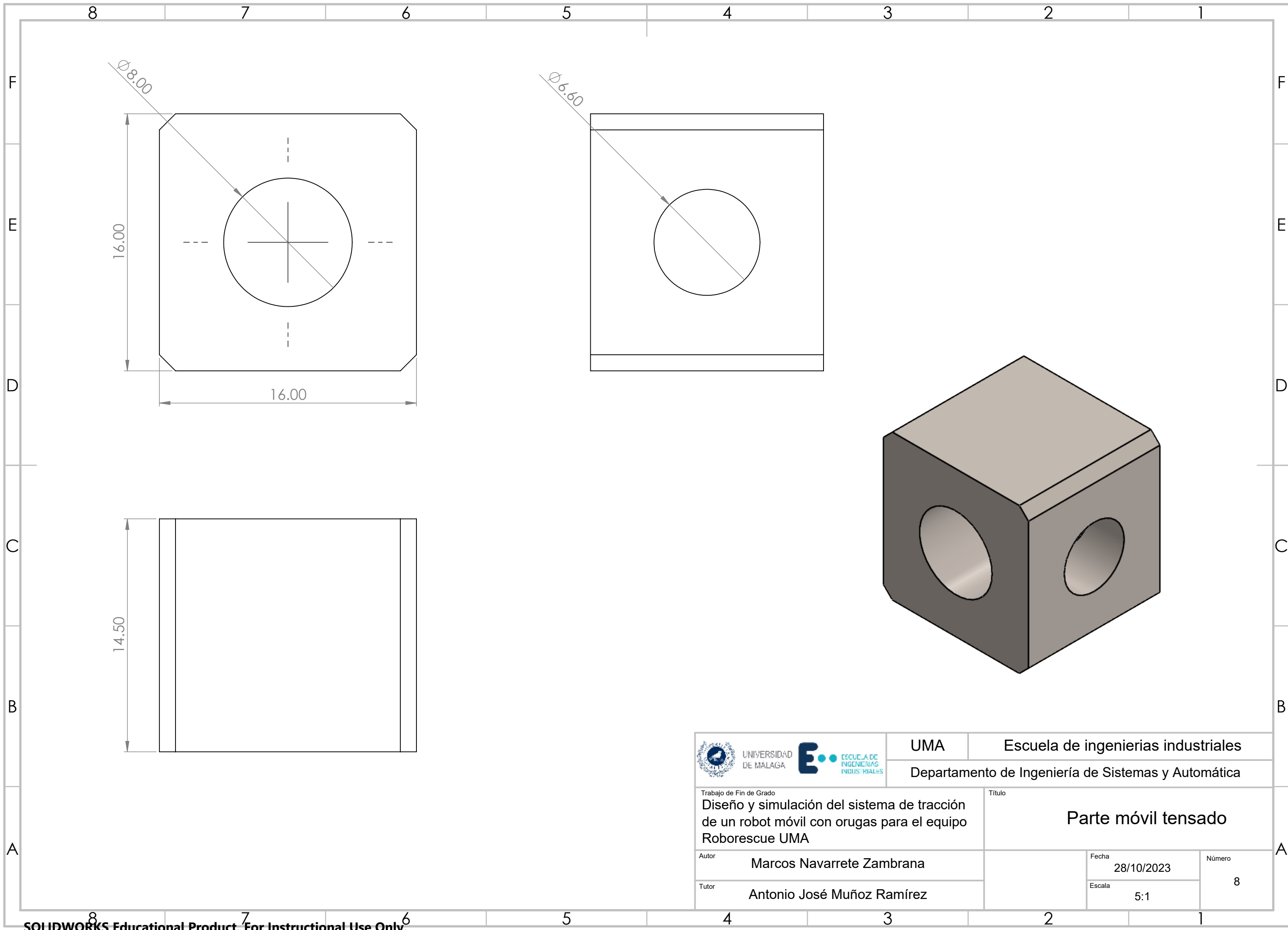
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA					
Autor			Chapa exterior		
Marcos Navarrete Zambrana					
Tutor					
Antonio José Muñoz Ramírez					
			Fecha		Número
			28/10/2023		
			Escala		5
			1:2		



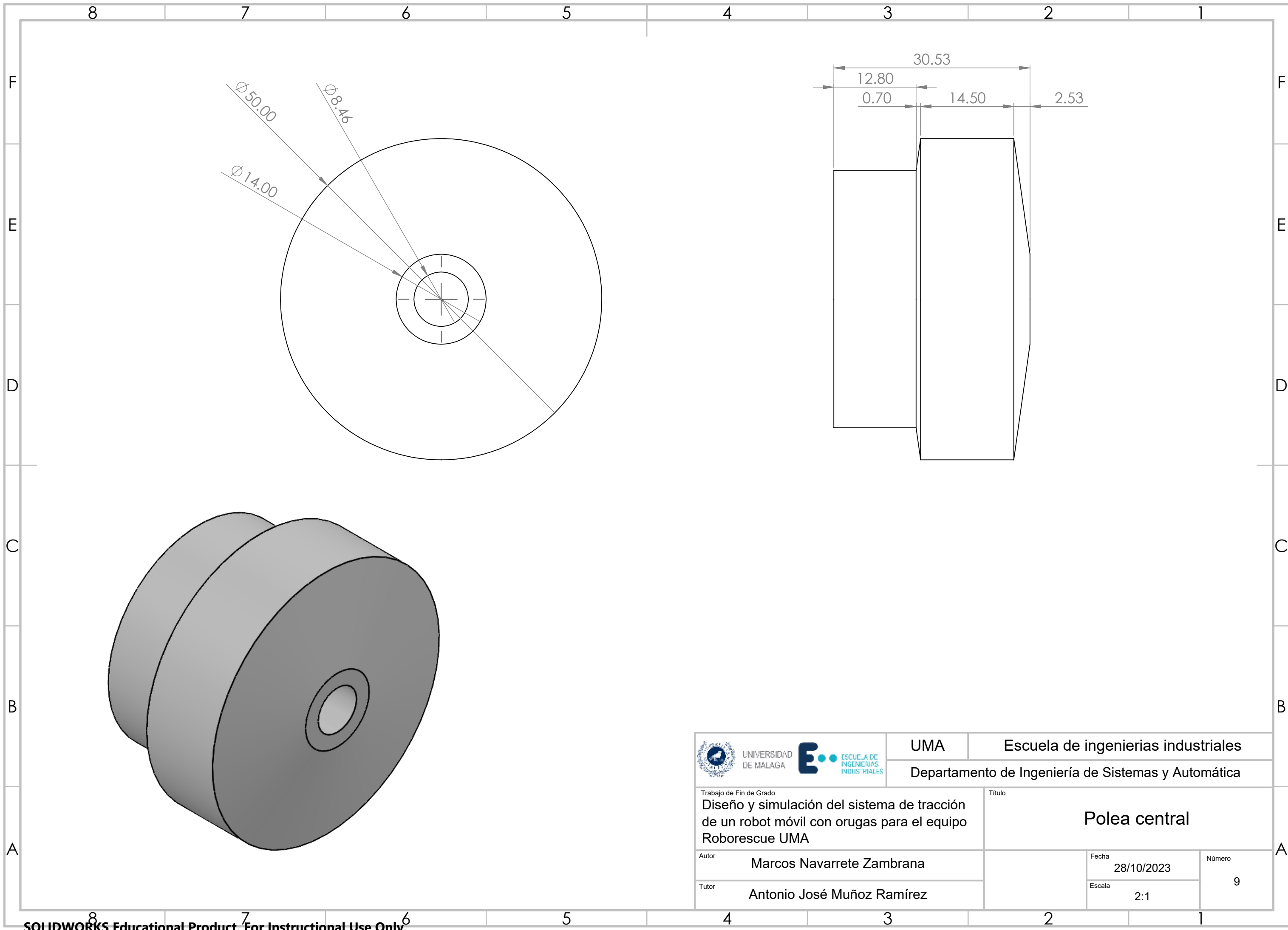
		UMA		Escuela de ingenierías industriales		
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática				
Trabajo de Fin de Grado			Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA						
Autor					Fecha	Número
Marcos Navarrete Zambrana					28/10/2023	
Tutor					Escala	6
Antonio José Muñoz Ramírez					1:2	



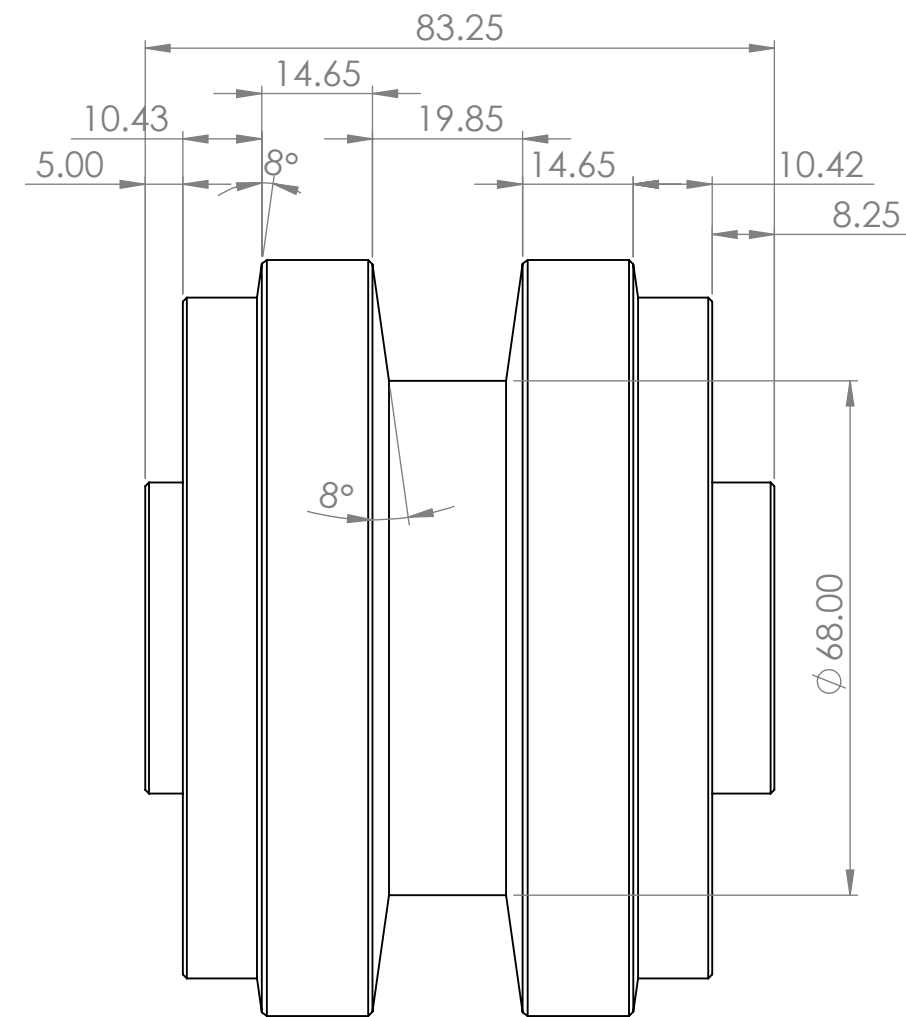
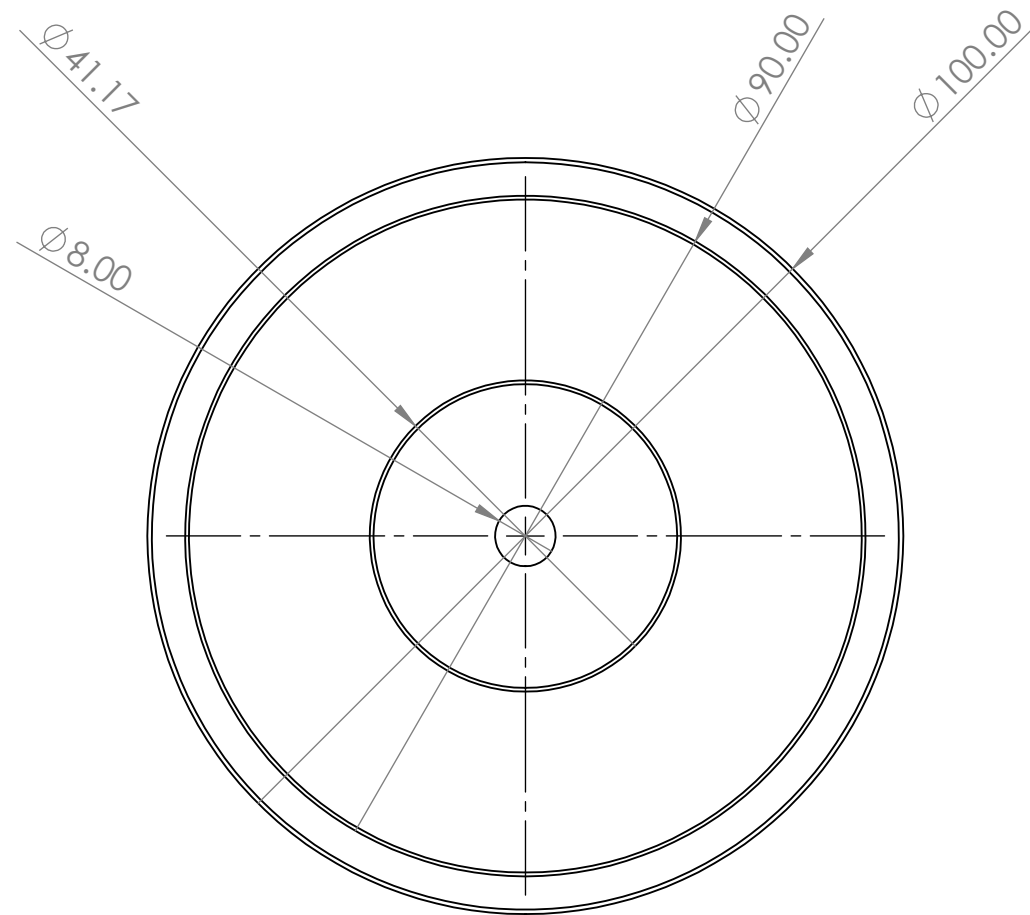
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales							
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática									
Trabajo de Fin de Grado				Título									
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA				Parte fija tensado									
Autor		Marcos Navarrete Zambrana				Fecha		28/10/2023		Número		7	
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez				Escala		2:1					



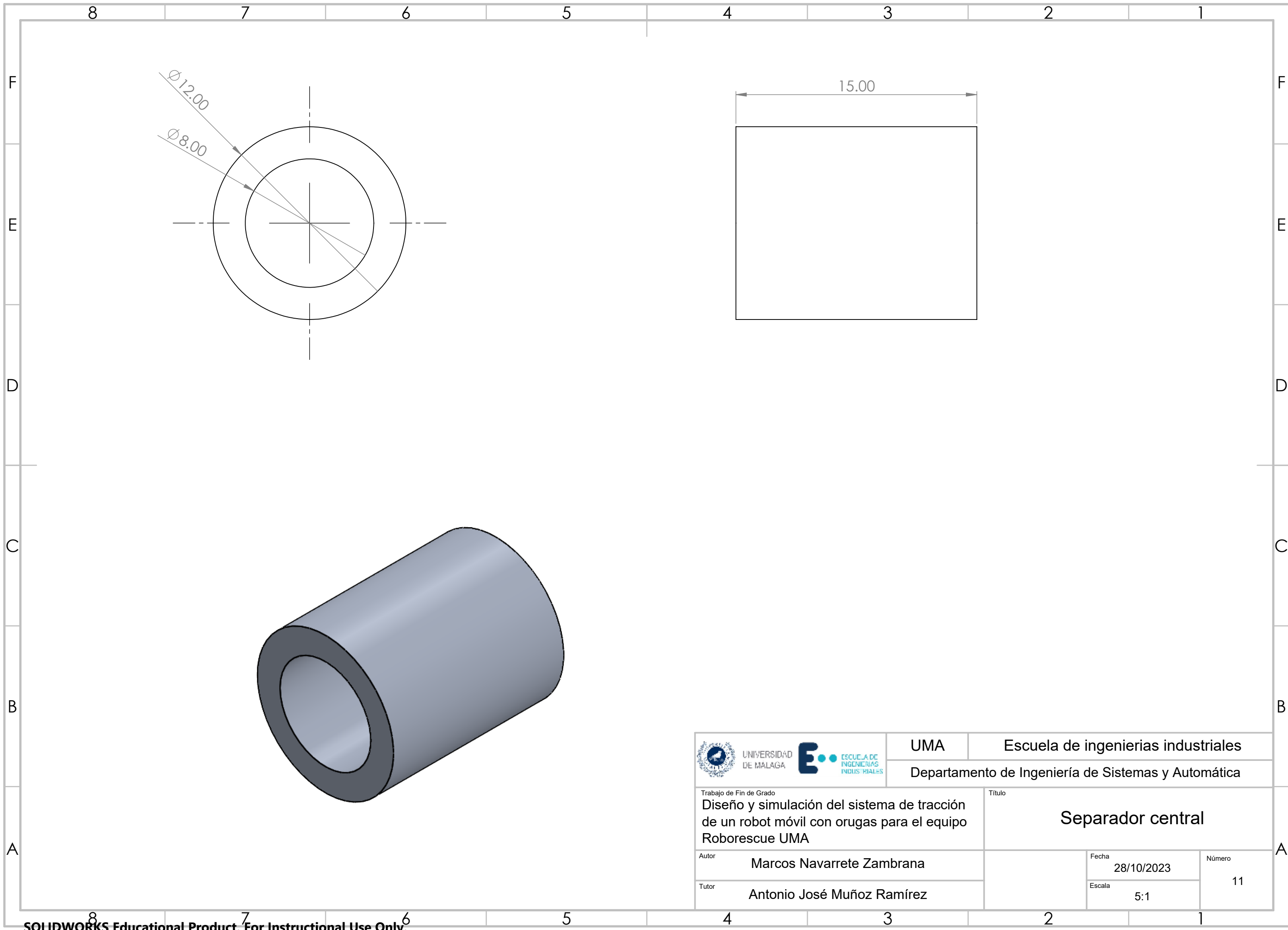
		UMA		Escuela de ingenierías industriales			
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática					
Trabajo de Fin de Grado		Título					
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA							
Autor				Fecha		Número	
Marcos Navarrete Zambrana				28/10/2023			
Tutor				Escala		8	
Antonio José Muñoz Ramírez				5:1			



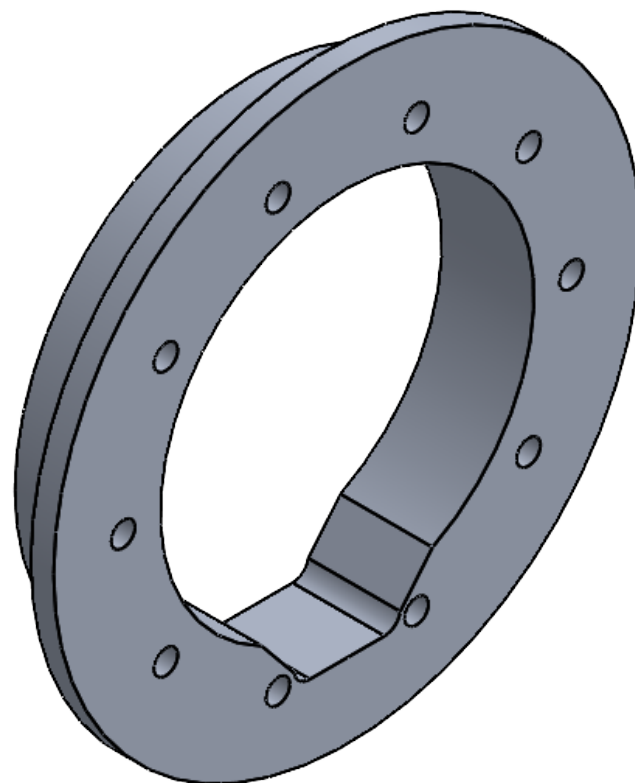
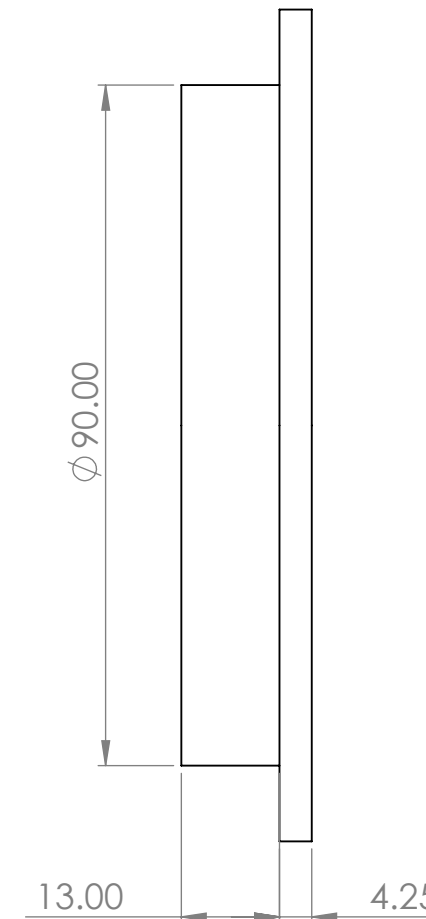
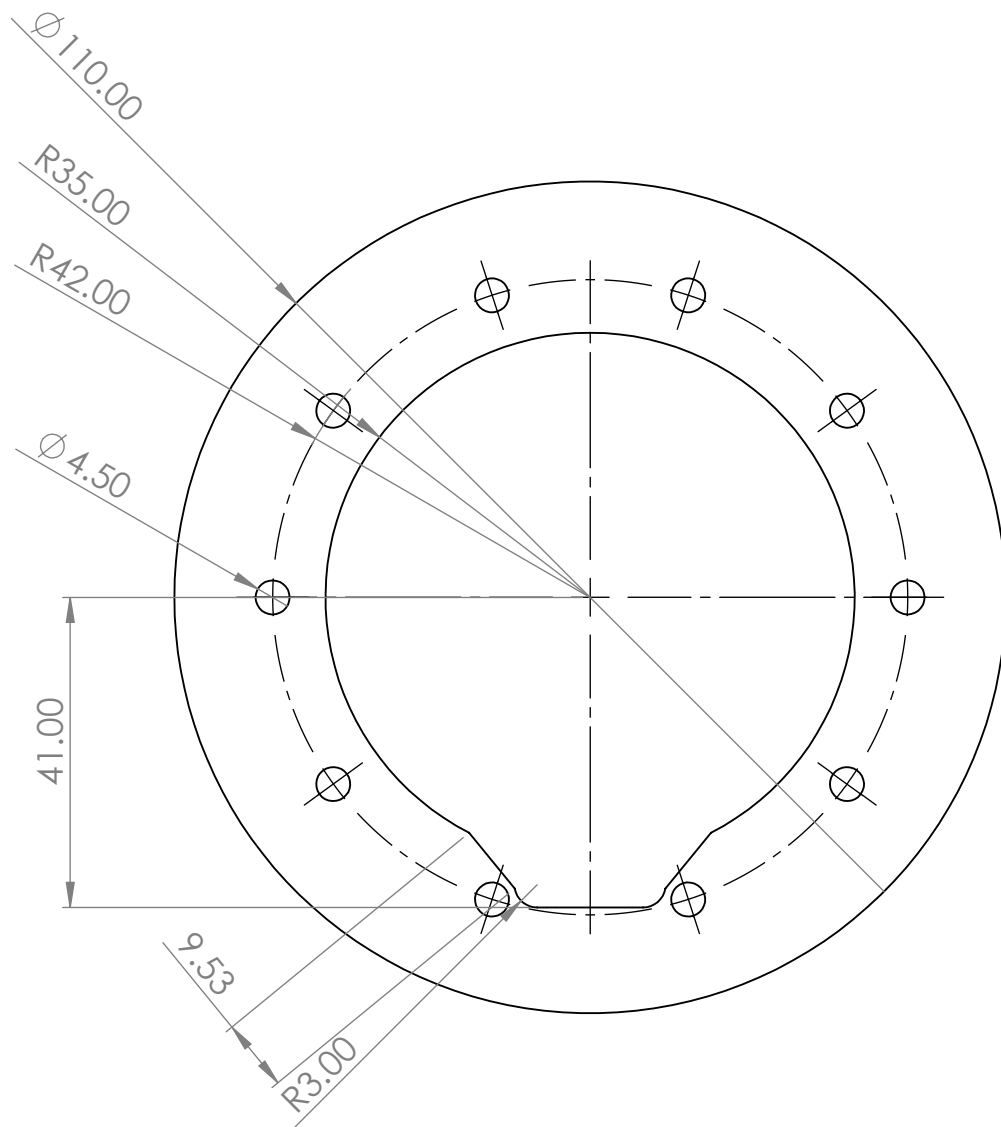
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado				Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA				Polea central			
Autor		Marcos Navarrete Zambrana			Fecha		Número
					28/10/2023		
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez			Escala		9
					2:1		



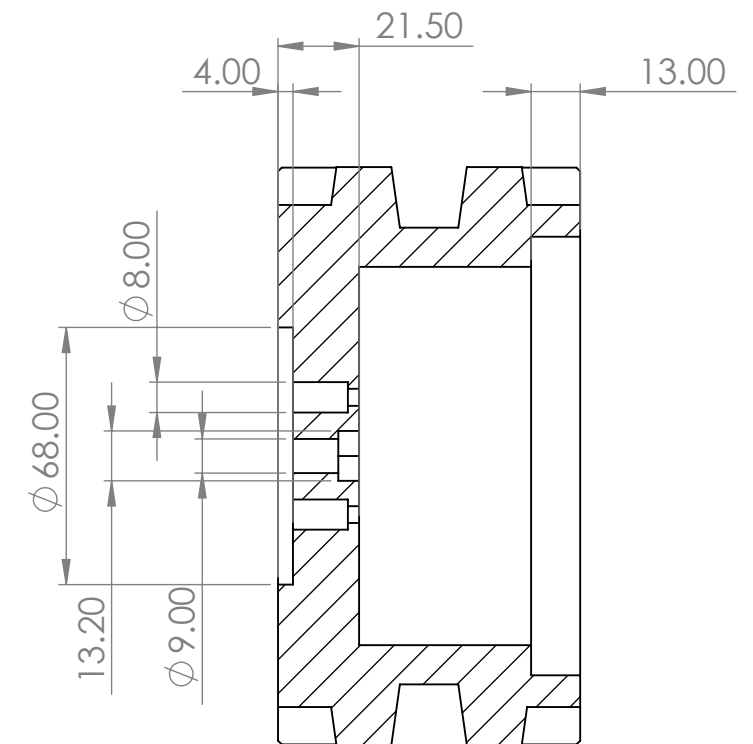
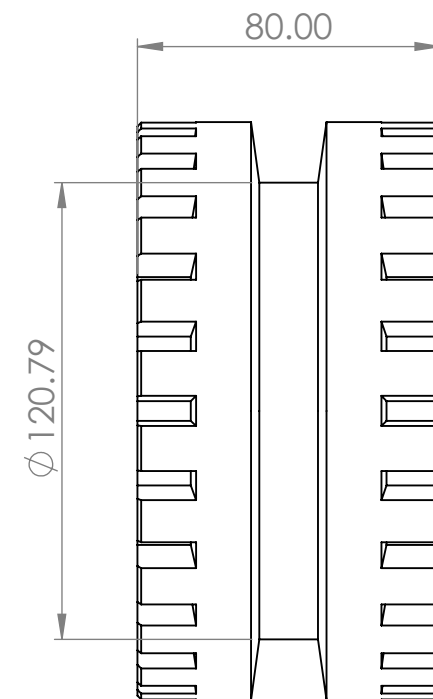
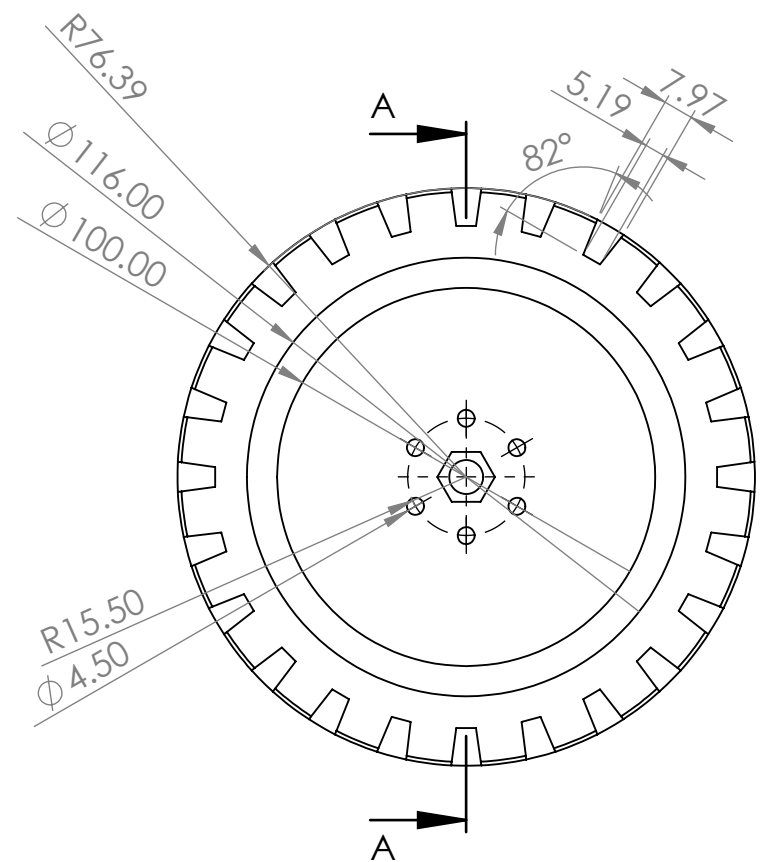
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado				Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA				Polea Pasiva			
Autor		Marcos Navarrete Zambrana		Fecha		Número	
				28/10/2023			
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez		Escala		10	
				1:1			



		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA					
Autor					
Marcos Navarrete Zambrana					
Tutor					
Antonio José Muñoz Ramírez					
			Fecha		
			28/10/2023		
			Número		
			11		
			Escala		
			5:1		



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales			
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática					
Trabajo de Fin de Grado				Título					
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA				Soporte rodamiento					
Autor		Marcos Navarrete Zambrana				Fecha 28/10/2023		Número 12	
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez				Escala 1:1			



SECTION A-A



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



UMA

Escuela de ingenierías industriales

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Trabajo de Fin de Grado

Diseño y simulación del sistema de tracción
de un robot móvil con orugas para el equipo
Roborescue UMA

Título

Polea Activa

Autor

Marcos Navarrete Zambrana

Fecha

28/10/2023

Número

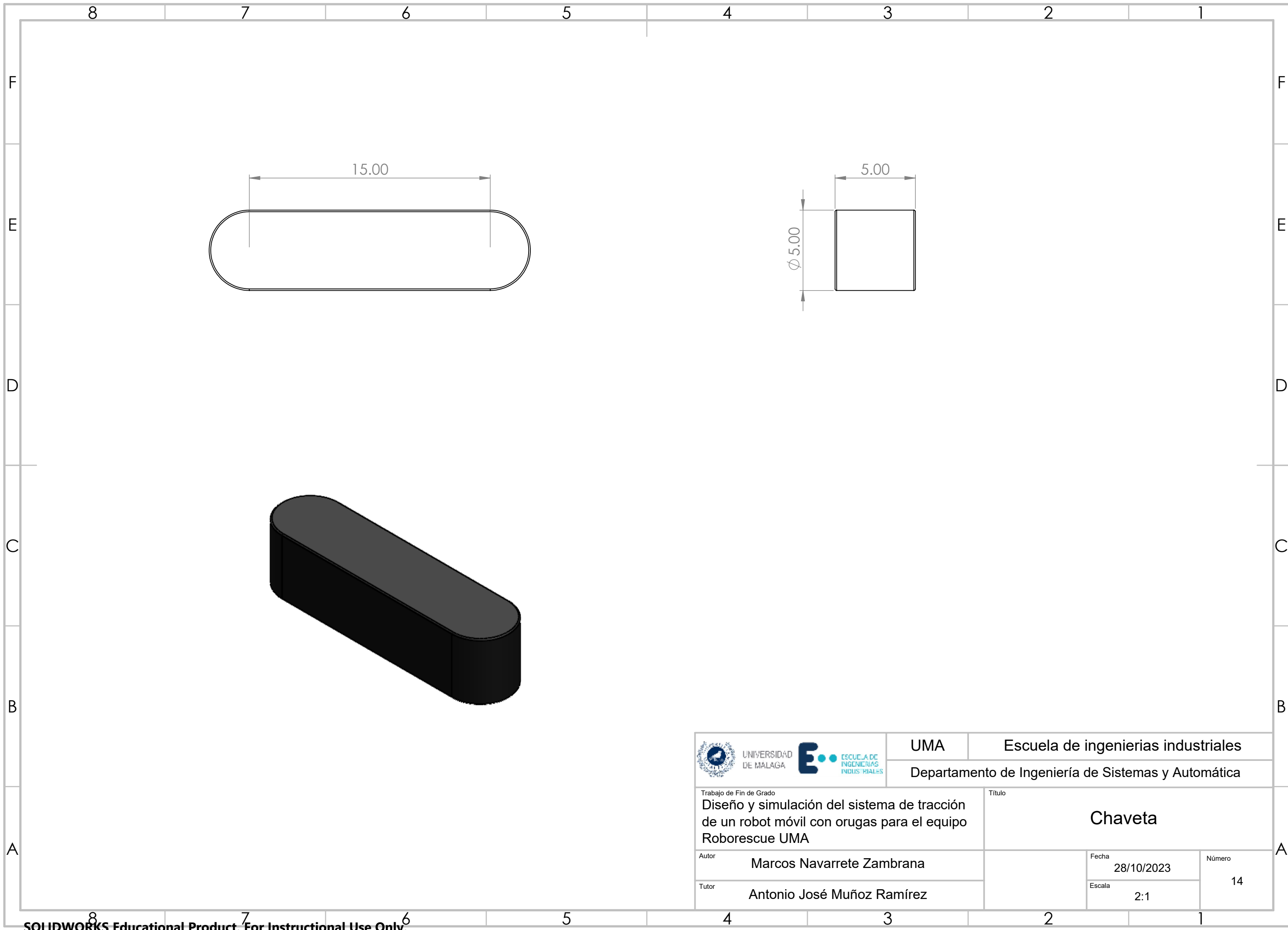
13

Tutor

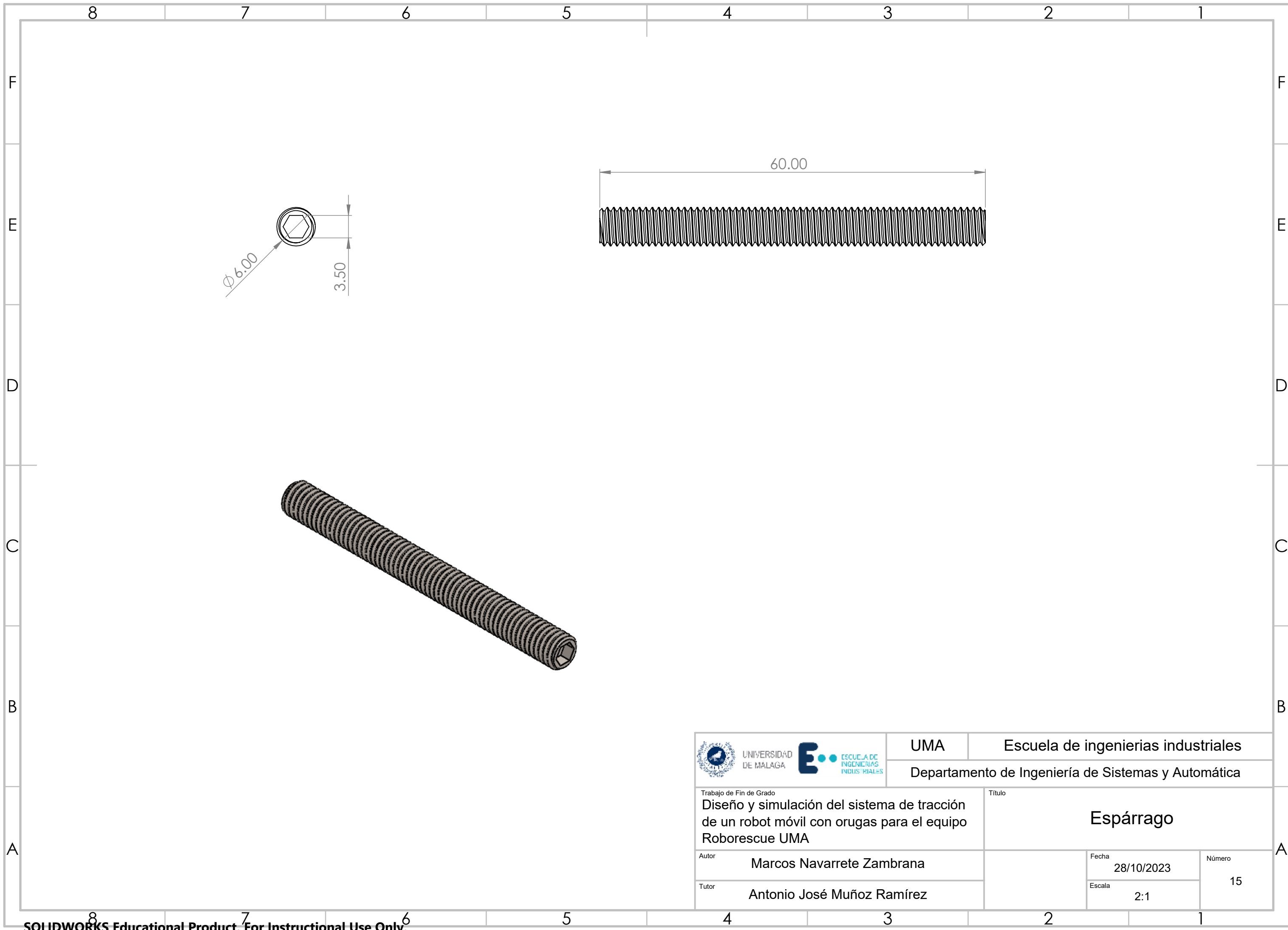
Antonio José Muñoz Ramírez

Escala

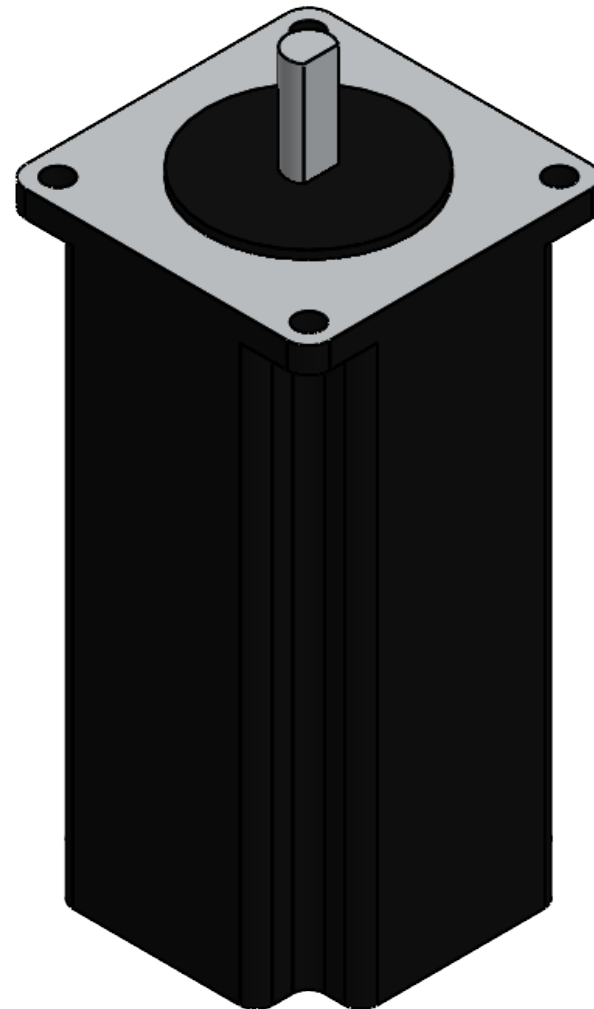
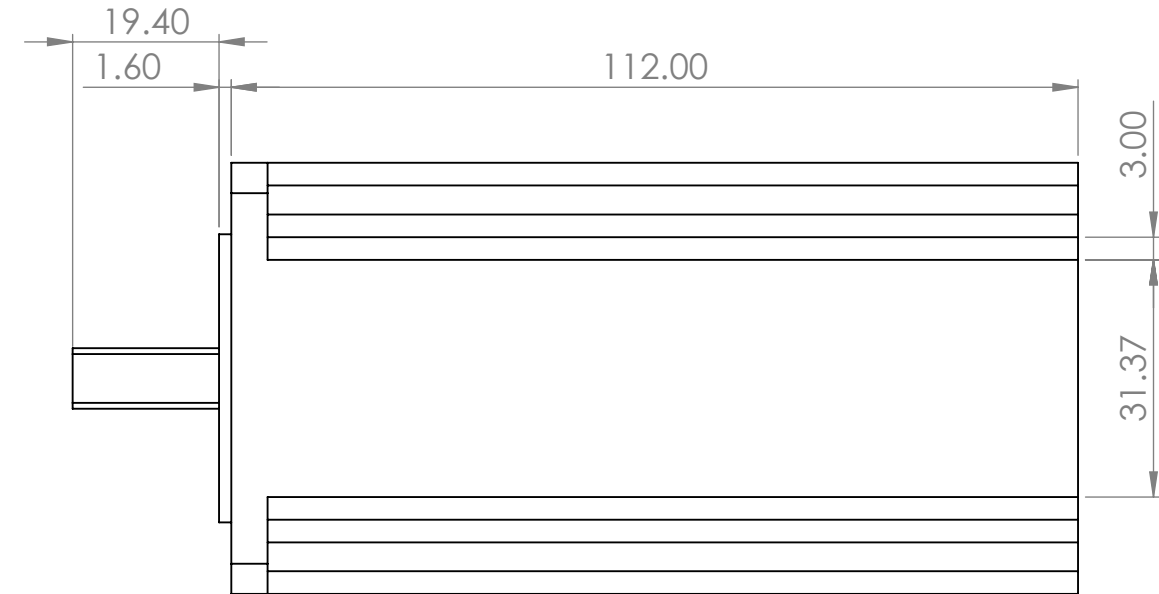
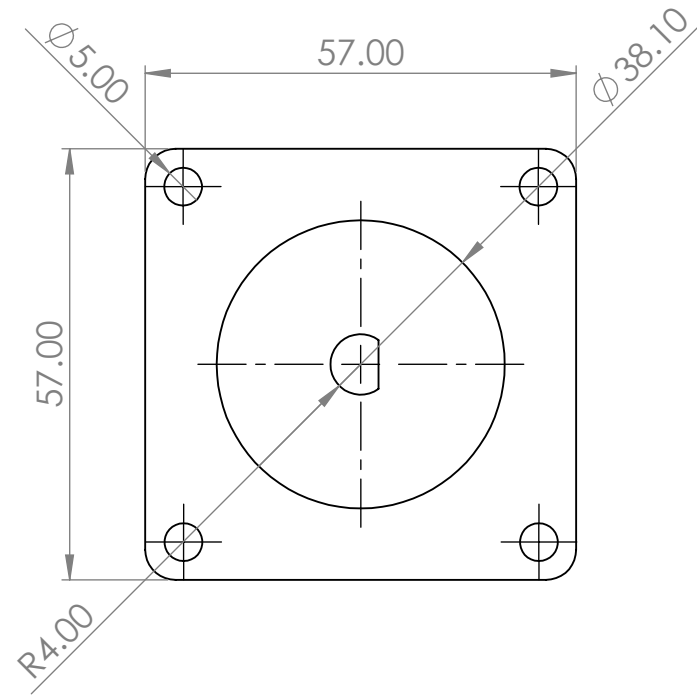
1:2



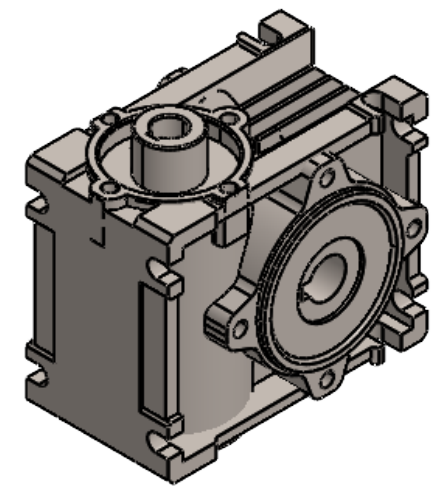
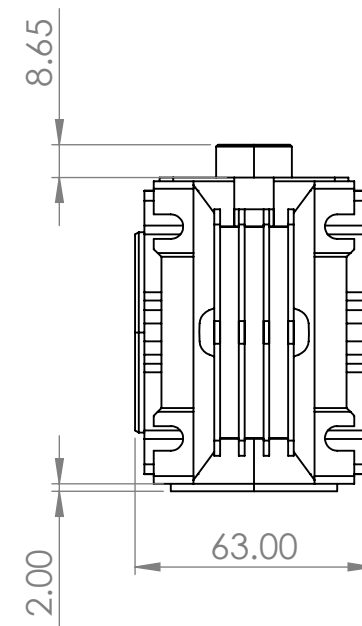
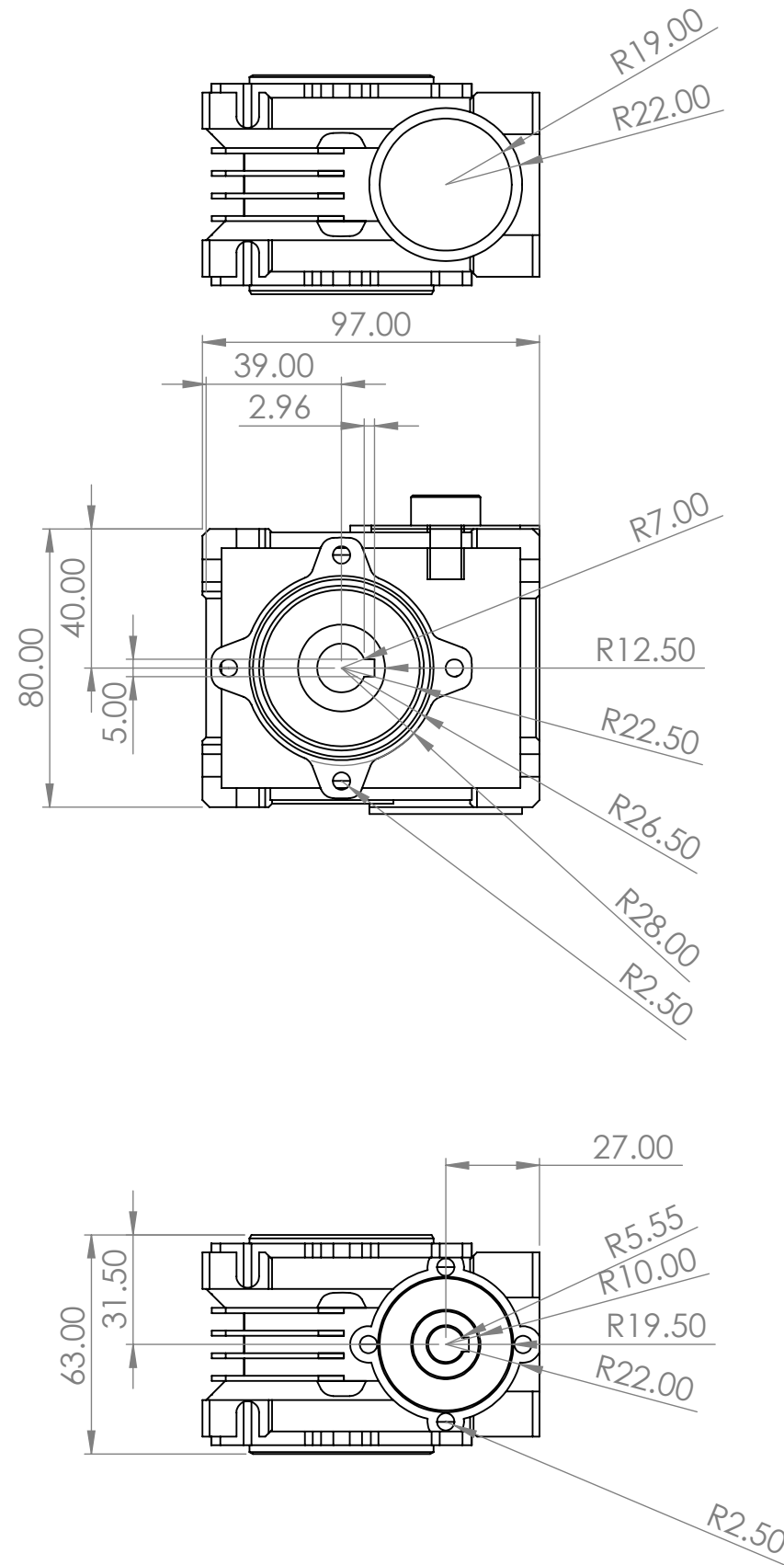
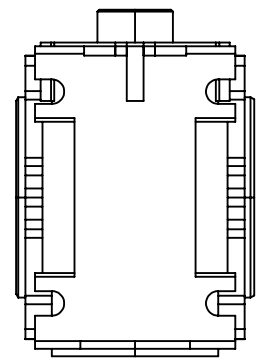
		UMA		Escuela de ingenierías industriales			
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática					
Trabajo de Fin de Grado		Título					
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA							
Autor				Fecha		Número	
Marcos Navarrete Zambrana				28/10/2023			
Tutor				Escala		14	
Antonio José Muñoz Ramírez				2:1			



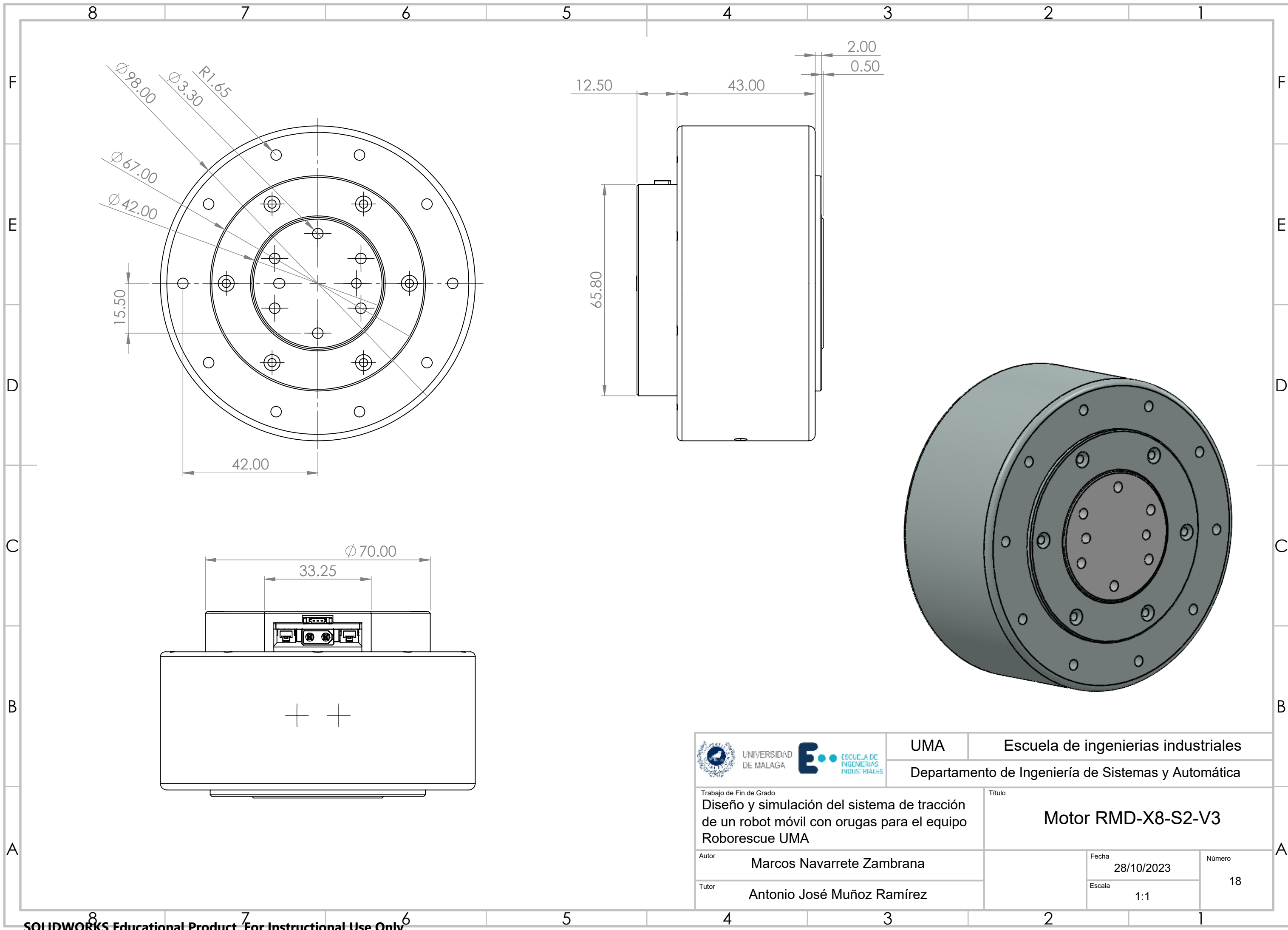
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA	Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática		
Trabajo de Fin de Grado		Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA		Espárrago		
Autor	Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	Número
			28/10/2023	
Tutor	Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	15
			2:1	



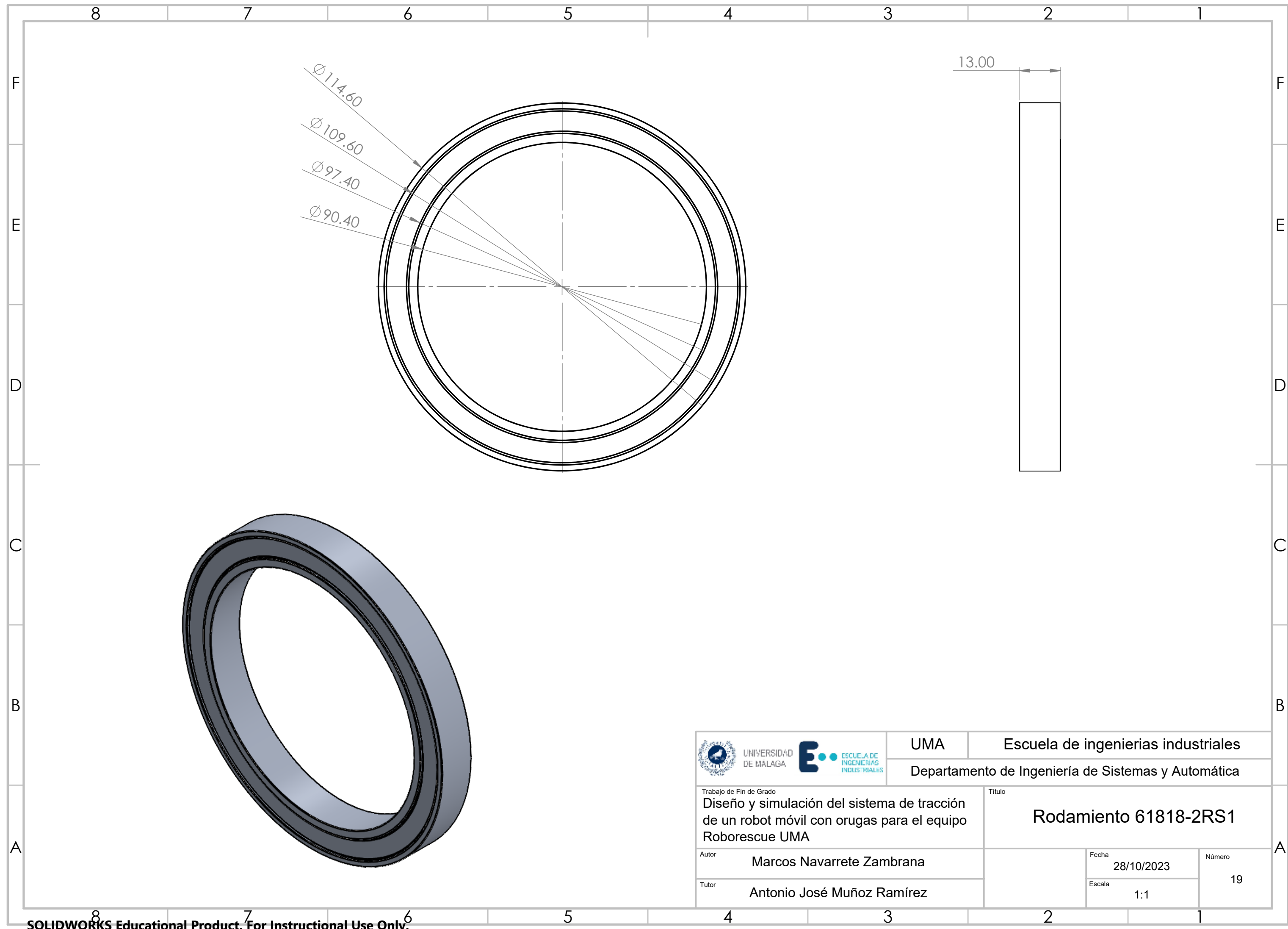
 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	UMA		Escuela de ingenierías industriales	
			Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA			Motor 57HS112			
Autor			Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	
					28/10/2023	
Tutor			Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	
					1:1	
					Número	
					16	



		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA			Reductora NMRV030		
Autor			Fecha		Número
Marcos Navarrete Zambrana			28/10/2023		
Tutor			Escala		17
Antonio José Muñoz Ramírez			1:2		



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado				Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA				Motor RMD-X8-S2-V3			
Autor		Marcos Navarrete Zambrana				Fecha	Número
						28/10/2023	
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez				Escala	
						1:1	



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA		 ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales			
				Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática					
Trabajo de Fin de Grado				Título					
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA				Rodamiento 61818-2RS1					
Autor		Marcos Navarrete Zambrana				Fecha		Número	
						28/10/2023			
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez				Escala			
						1:1			

8 7 6 5 4 3 2 1

F

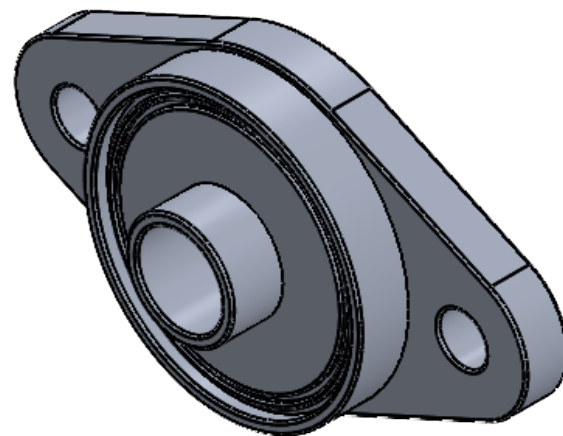
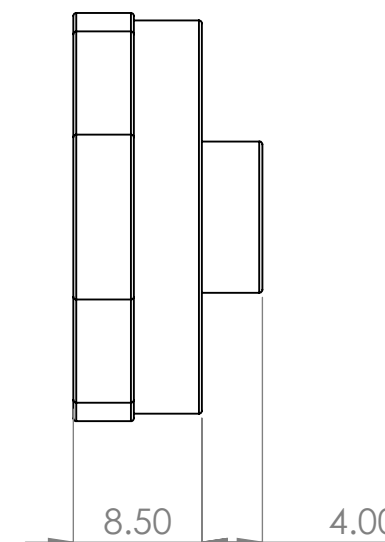
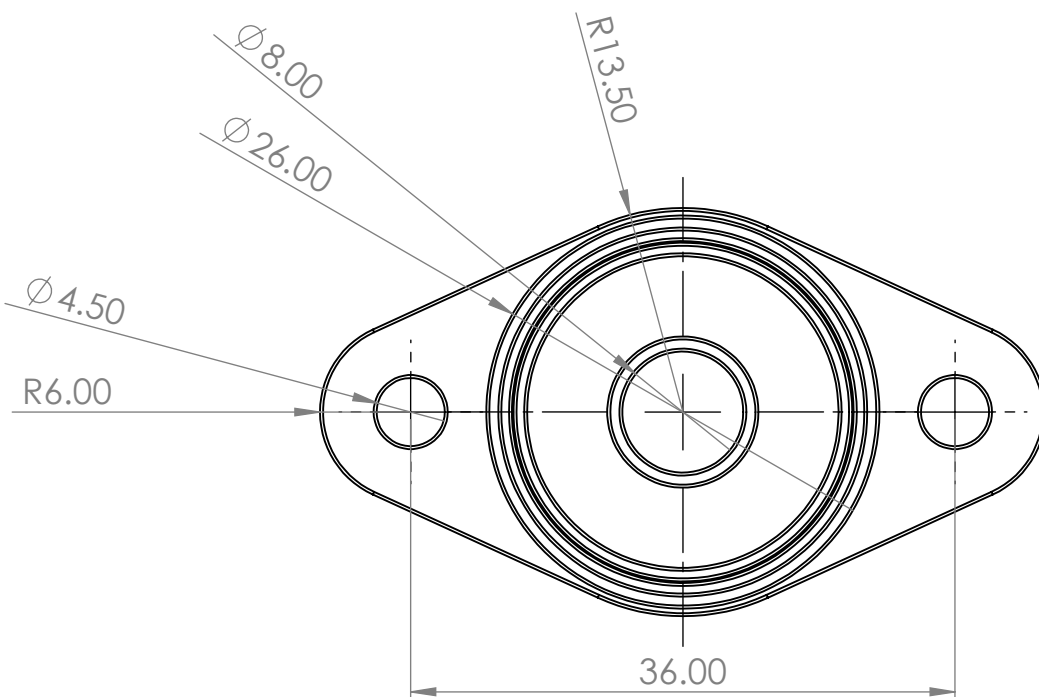
E

D

C

B

A



F

E

D

C

B

A



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UMA

Escuela de ingenierías industriales

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Trabajo de Fin de Grado

Diseño y simulación del sistema de tracción
de un robot móvil con orugas para el equipo
Roborescue UMA

Título

Rodamiento KFL08

Autor

Marcos Navarrete Zambrana

Fecha

28/10/2023

Número

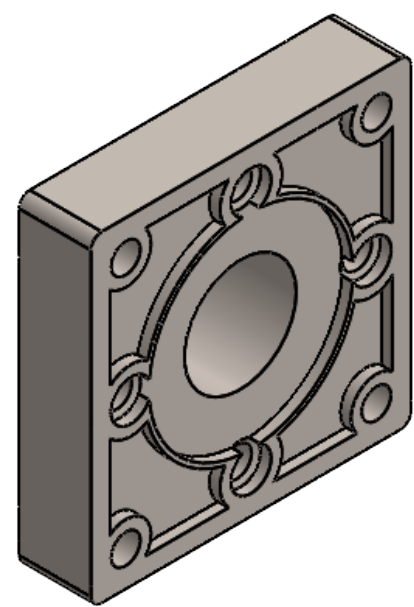
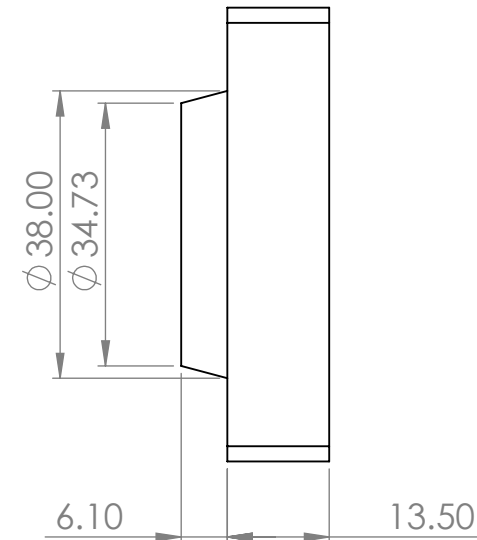
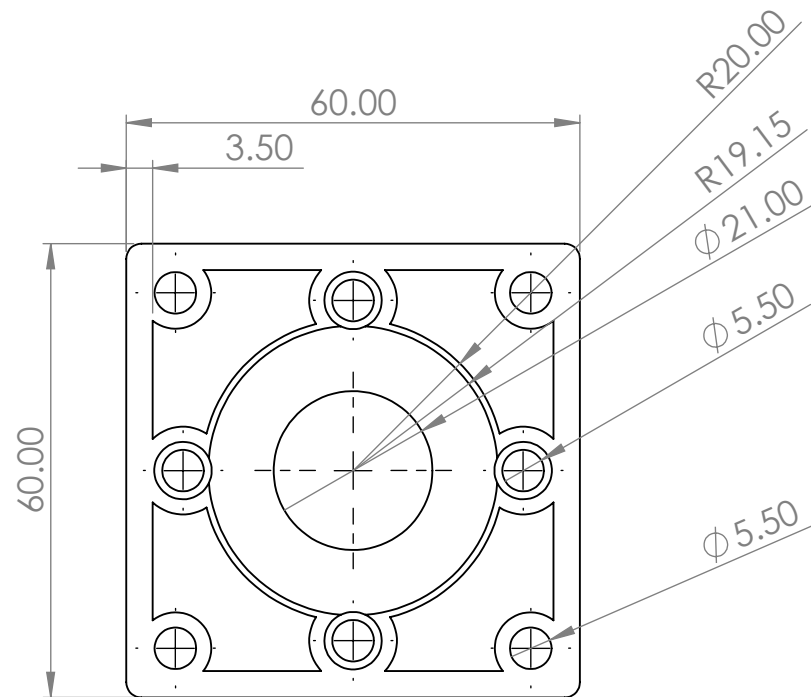
20

Tutor

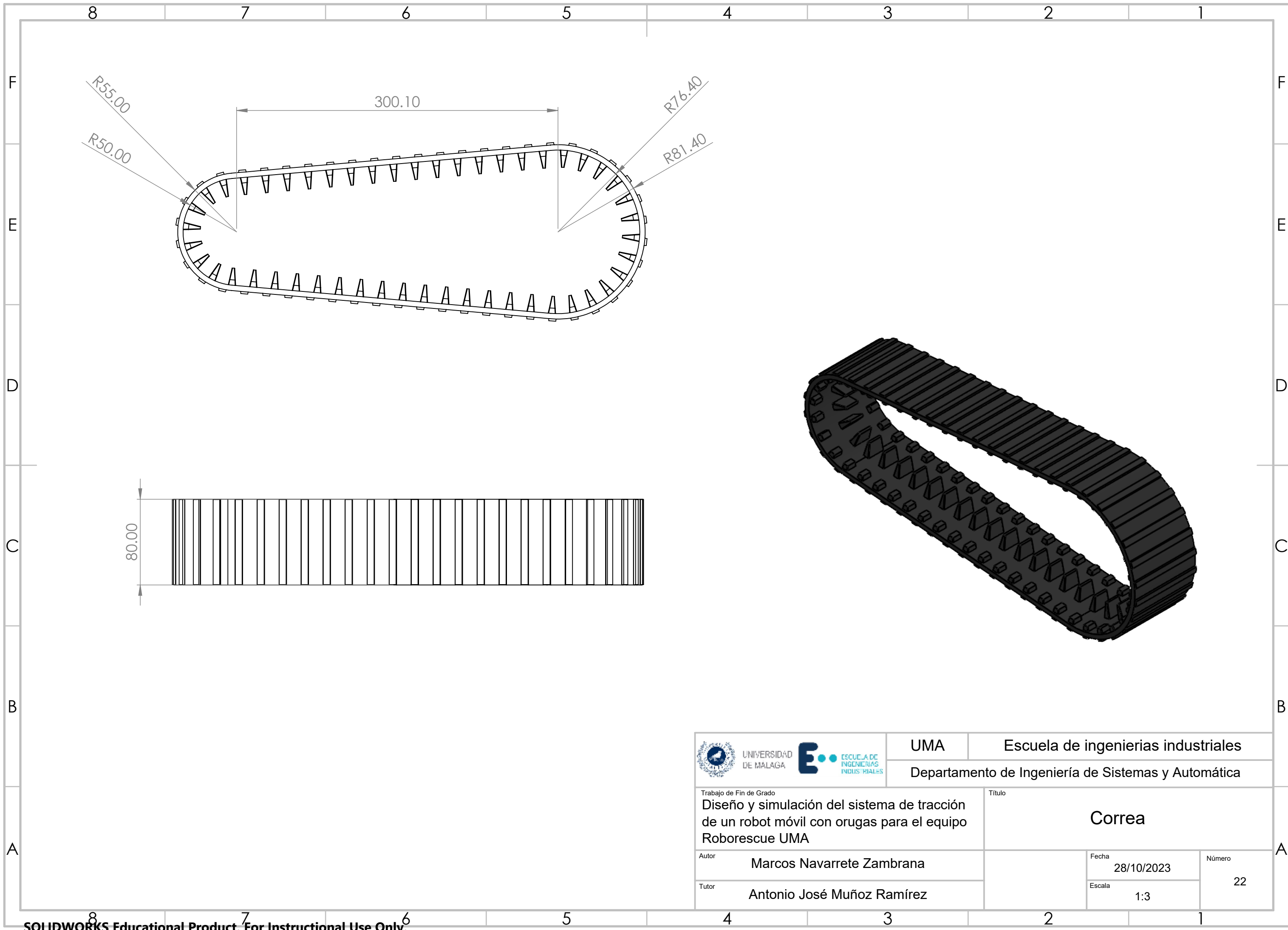
Antonio José Muñoz Ramírez

Escala

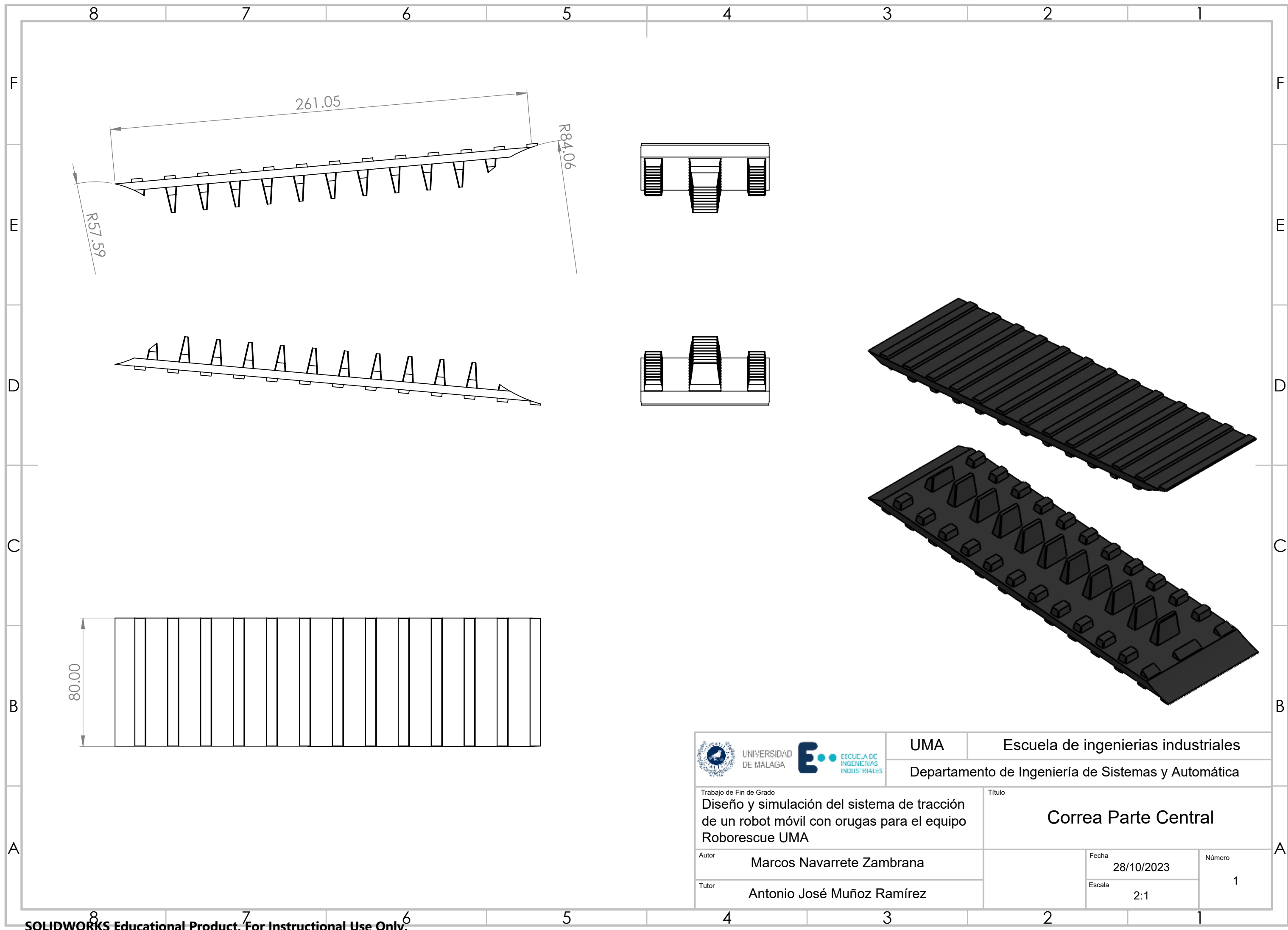
2:1



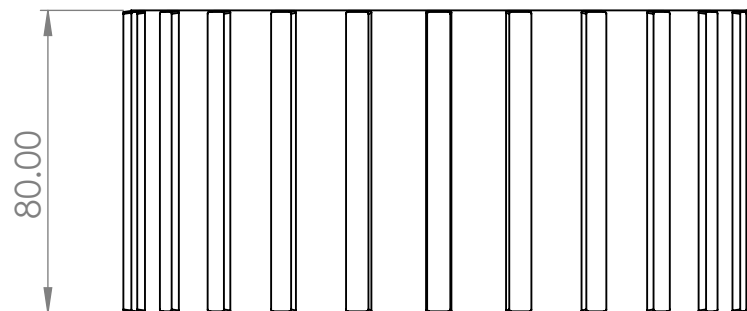
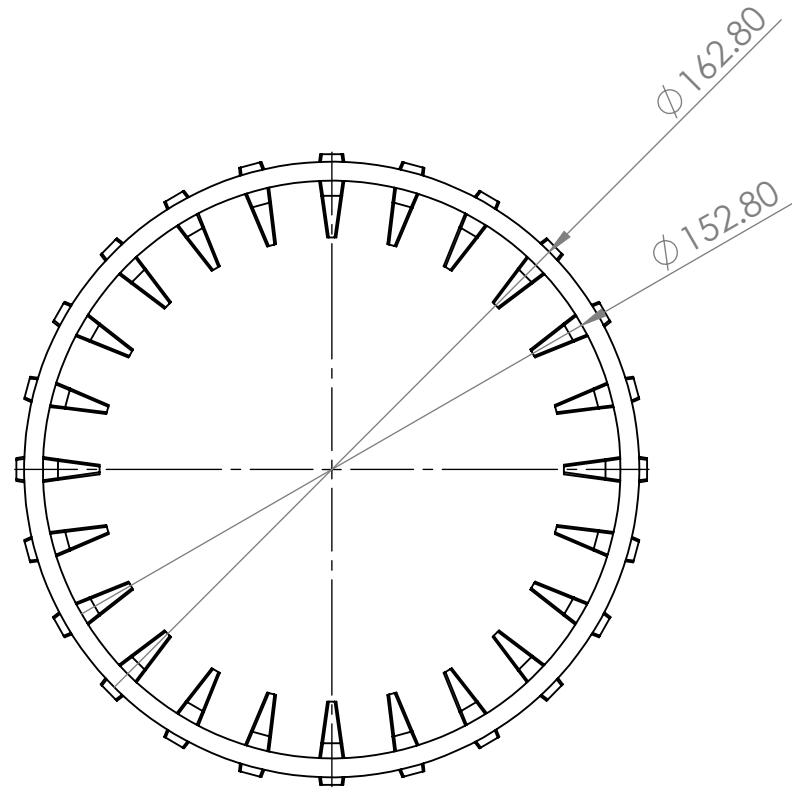
		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado		Título			
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA		Unión Motor Reductora			
Autor	Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	28/10/2023	Número
Tutor	Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	1:1	21



 UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA			Correa		
Autor		Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	
				28/10/2023	
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	
				1:3	
				Número	
				22	



		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo RoboRescue UMA			Correa Parte Central		
Autor		Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	
				28/10/2023	
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	
				2:1	
				Número	
				1	



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



ESCUELA DE
INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UMA

Escuela de ingenierías industriales

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática

Trabajo de Fin de Grado

Diseño y simulación del sistema de tracción
de un robot móvil con orugas para el equipo
Roborescue UMA

Título

Correa_Parte_Central

Autor

Marcos Navarrete Zambrana

Tutor

Antonio José Muñoz Ramírez

Fecha

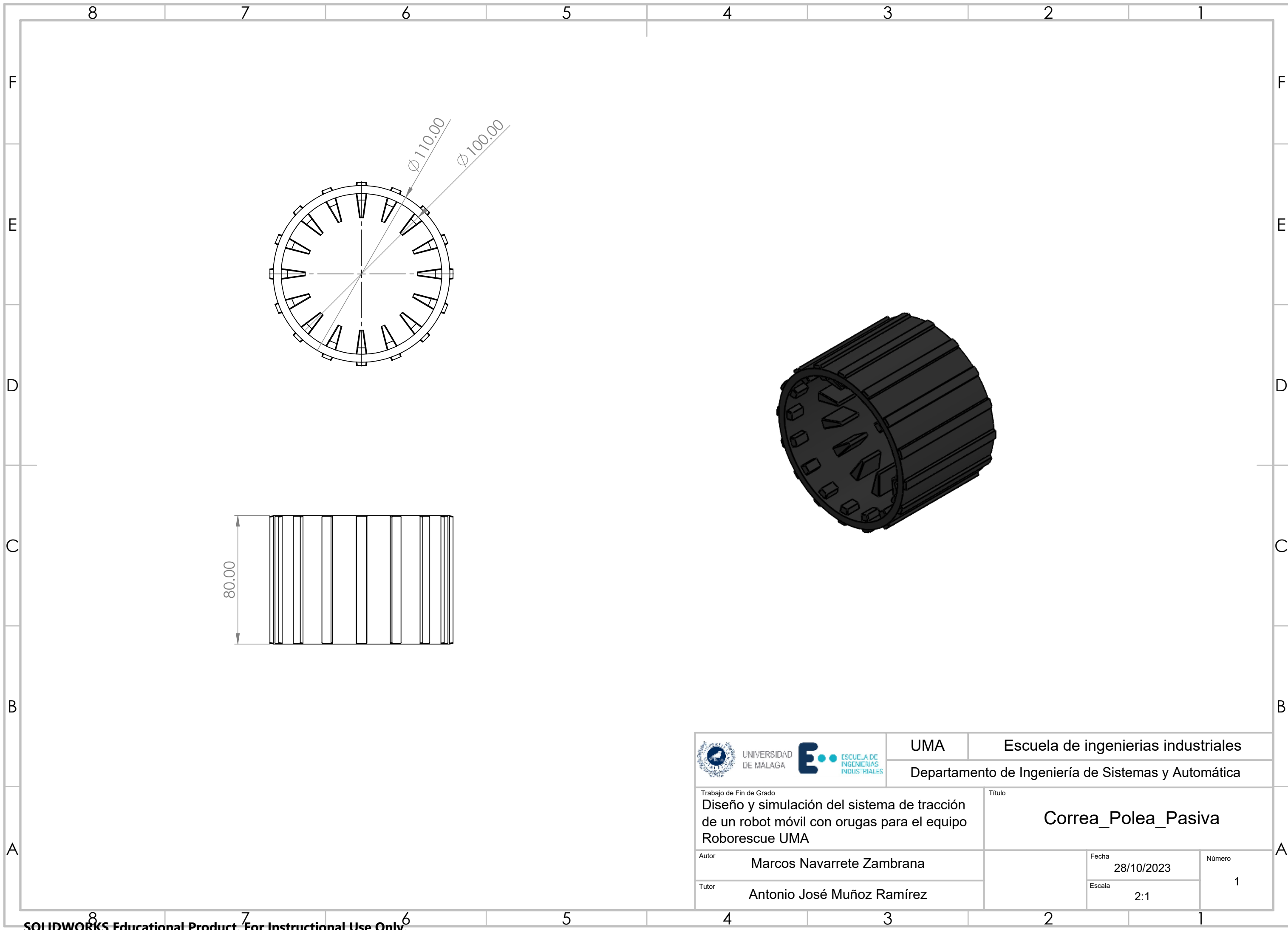
28/10/2023

Escala

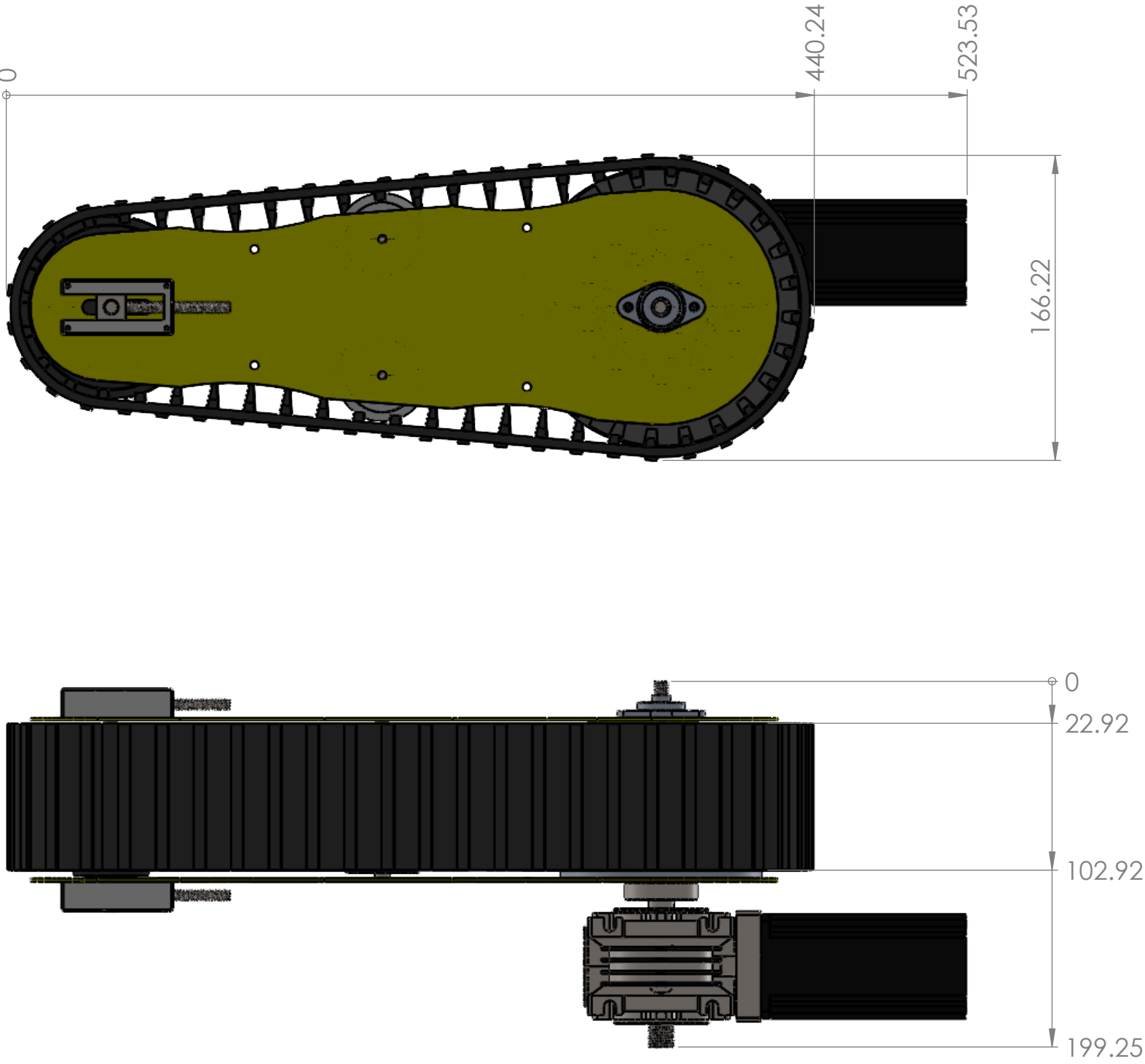
2:1

Número

1



		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA			Correa_Polea_Pasiva		
Autor		Marcos Navarrete Zambrana		Fecha	Número
				28/10/2023	1
Tutor		Antonio José Muñoz Ramírez		Escala	
				2:1	



		UMA		Escuela de ingenierías industriales	
		Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática			
Trabajo de Fin de Grado			Título		
Diseño y simulación del sistema de tracción de un robot móvil con orugas para el equipo Roborescue UMA					
Autor			Fecha		Número
Marcos Navarrete Zambrana					
Tutor			Escala		1
Antonio José Muñoz Ramírez			2:1		